



## **PROJETO DE GRADUAÇÃO**

# **ANÁLISE DAS MÉTRICAS DE COMPLEXIDADE PARA MAPEAMENTO DE PROCESSOS**

Por,

**Adriano Augusto Boquady Alves**

**Brasília, 08 de dezembro de 2016**

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA**

FACULDADE DE TECNOLOGIA

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA  
Faculdade de Tecnologia  
Departamento de Engenharia de Produção

## PROJETO DE GRADUAÇÃO

# ANÁLISE DAS MÉTRICAS DE COMPLEXIDADE PARA MAPEAMENTO DE PROCESSOS

Por,  
**Adriano Augusto Boquady Alves**

Relatório submetido como requisito parcial para obtenção  
do grau de Engenheiro de Produção

### **Banca Examinadora**

Profª Drª Simone Borges Simão Monteiro UnB/ EPR (Orientadora)

Profº Dr. João Carlos Felix Souza UnB/ EPR

Profº Dr. Gladston Luiz da Silva UnB/ EST (Membro externo)

Brasília, 08 de dezembro de 2016

### **Dedicatória**

*Dedico este trabalho às 3 que me  
fazem querer ser cada dia melhor.  
Tetê, Nana e Micha.*

## **Agradecimentos**

*Aos meus Pais, Adriano e Tereza, pelo incentivo e amor incondicional.*

*À minha parceira Michelle, por todo o companheirismo e apoio emocional.*

*Aos meus estimados colegas da Engenharia de Produção, por toda a amizade e convivência ao longo desses anos. Sem vocês, meus PSP's nada seriam.*

*À Professora Orientadora Simone Borges, pelo apoio, atenção, carinho, amizade e principalmente por toda confiança em mim depositada para a execução deste trabalho.*

*Aos professores Gladston e João Carlos (Joca), pela disponibilidade em avaliar este estudo.*

*A todos, que de algum modo contribuíram para esta etapa fundamental da minha vida.*

Os projetos de mapeamento de processos são fundamentais para que os modelos dos processos de negócio das organizações possuam clareza e sejam compreendidos por seus *stakeholders*. Entretanto, existe uma grande dificuldade de se estimar os recursos necessários para os projetos de mapeamento de processos e este fator influencia diretamente no tempo e no custo dos projetos. Deste modo, este trabalho busca, através das métricas de complexidade em processos de negócio, oferecer medições que subsidiem a tomada de decisão em projetos de mapeamentos de processos. Para isso, foram identificadas 13 propostas de medição de complexidade em processos de negócio encontradas na literatura, das quais foram selecionadas as métricas *Control-Flow Complexity* (CFC) e Grau de Sequenciamento ( $\Xi$ ), por satisfazerem o maior número de propriedades de Weyuker e por serem de fácil aplicabilidade em modelos mapeados com a notação BPMN. Posteriormente, foi realizada uma análise exploratória de dados de processos de uma grande organização pública, que resultou na definição de níveis de complexidade para modelos de processos baseada na estimativa do esforço empreendido em seu mapeamento, possibilitando assim, a classificação de complexidade dos modelos de processos da amostra estudada. A análise da matriz de correlação revelou uma relação de complementaridade entre as avaliações realizadas pelas métricas CFC e Grau de Sequenciamento, confirmando a vocação que estas medições possuem para compor um indicador de complexidade robusto, alicerçado em diferentes perspectivas. Assim foi verificado neste estudo que as métricas selecionadas (CFC e Grau de Sequenciamento), bem como os níveis de complexidade definidos, possuem grande capacidade para subsidiar a estimativa de recursos utilizados em projetos de mapeamento de processos, pois possuem fácil aplicabilidade e fornecem informações sob uma perspectiva interna dos processos mapeados. Isto tornará a tomada de decisão no âmbito destes projetos mais condizente com os processos de negócio de interesse dos *stakeholders*.

**Palavras-chave:** projeto de mapeamento de processos, modelo de processo de negócio, métricas de complexidade, *control-flow complexity*, grau de sequenciamento.

---

## ABSTRACT

Business process mapping projects are essential for organizations' business process models to be understandable by their stakeholders. However, estimating resources needed for business mapping projects can be a very difficult task and this impacts directly on time and costs of the project. Thus, this paper seeks to offer measurements that subsidize decision making in business process mapping projects, through the metrics of complexity in business processes. In order to do so, we have identified 13 proposals for measuring complexity in business processes found in the literature, from which Control-Flow Complexity (CFC) and Sequentiality ( $\Xi$ ) metrics were selected. These two metrics satisfied the greatest number of Weyuker properties and are easily applicable in models mapped with BPMN. Subsequently, an exploratory analysis of process data from a large public organization was carried out, which resulted in the definition of complexity levels for process models based on the estimation of the effort undertaken in their mapping, thus enabling the classification of complexity of process models of the sample studied. The analysis of a correlation matrix revealed a complementarity relationship between the evaluations performed by CFC and Sequentiality metrics, confirming the propensity that these measurements have to compose a solid indicator for business process complexity. Thus, it was verified in this study that the selected metrics (CFC and Sequentiality), as well as the complexity levels defined, have great capacity to subsidize the estimation of resources used in process mapping projects, since they are easy to apply and provide information under an structural perspective of the process models. This will turn project decision making more consistent with business processes.

**Keywords:** business process mapping projects, business process model, complexity metrics, control-flow complexity, sequentiality.

# SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>14</b>
1.1	CONTEXTUALIZAÇÃO .....	14
1.2	JUSTIFICATIVA .....	15
1.3	OBJETIVOS .....	16
1.3.1	Objetivo geral .....	16
1.3.2	Objetivos específicos .....	16
1.4	ESTRUTURA DO TRABALHO .....	16
<b>2</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO .....</b>	<b>18</b>
2.1	MODELAGEM DE PROCESSOS DE NEGÓCIO .....	18
2.1.1	Modelo de processo de negócio.....	19
2.2	COMPLEXIDADE EM PROCESSOS DE NEGÓCIO .....	20
2.2.1	Requisitos para medição de complexidade .....	21
2.2.2	Perspectivas para medição de complexidade.....	21
2.3	MÉTRICAS DE COMPLEXIDADE EM PROCESSOS.....	22
2.3.1	<i>Control-Flow Complexity Metric</i> .....	22
2.3.1.1	Complexidade Ciclomática de McCabe .....	23
2.3.1.2	Cálculo do CFC.....	24
2.3.2	<i>Structuredness Metric</i> .....	26
2.3.3	<i>Cross-Connectivity Metric</i> .....	28
2.3.4	<i>Simple Square Metric</i> .....	29
2.3.5	<i>Error Metrics</i> .....	30
2.4	MÉTODOS DE VALIDAÇÃO PARA MÉTRICAS.....	32
2.4.1	Validação teórica.....	32
2.4.2	Validação Empírica .....	33
2.5	RESUMO DAS MÉTRICAS DE COMPLEXIDADE.....	33
<b>3</b>	<b>METODOLOGIA DA PESQUISA .....</b>	<b>35</b>
3.1	VISÃO GERAL DA PESQUISA .....	35
3.2	ESTRUTURAÇÃO DA PESQUISA BIBLIOGRÁFICA .....	37
3.3	AValiação E SELEÇÃO DAS MÉTRICAS DE COMPLEXIDADE .	37
3.3.1	Definição dos fatores de avaliação das métricas .....	37

3.3.1.1 Propriedades de Weyuker (1998) .....	37
3.3.1.2 Critérios basilares da pesquisa .....	39
3.3.2 Estruturação da avaliação das métricas de complexidade.....	39
3.3.3 Seleção das métricas .....	40
3.4 ESTRUTURAÇÃO DA ANÁLISE EXPLORATÓRIA .....	40
3.4.1 Caracterização dos Instrumentos de coleta de dados.....	40
3.4.2 Procedimento de Análise de Dados .....	41
<b>4 AVALIAÇÃO E SELEÇÃO DAS MÉTRICAS DE COMPLEXIDADE .....</b>	<b>42</b>
4.1 PERSPECTIVA DE WEYUKER .....	42
4.2 PERSPECTIVA DOS CRITÉRIOS BASILARES DA PESQUISA .....	45
4.3 SELEÇÃO DAS MÉTRICAS.....	45
4.4 MEDIÇÃO DA COMPLEXIDADE UTILIZANDO CFC E GRAU DE SEQUENCIAMENTO .....	48
<b>5 ANÁLISE DOS DADOS E RESULTADOS .....</b>	<b>51</b>
5.1 APRESENTAÇÃO DOS DADOS.....	51
5.2 ANÁLISE DESCRITIVA DOS DADOS .....	53
5.2.1 Análise do <i>boxplot</i> para CFC .....	55
5.2.2 Análise do <i>boxplot</i> para Grau de Sequenciamento .....	58
5.3 IDENTIFICAÇÃO DOS NÍVEIS DE COMPLEXIDADE .....	59
5.3.1 Níveis de complexidade para CFC.....	61
5.4 CLASSIFICAÇÃO DE COMPLEXIDADE DA AMOSTRA.....	62
<b>6 CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>66</b>
6.1 TRABALHOS FUTUROS.....	67
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>69</b>
<b>APÊNDICE A: Guia para preenchimento do quadro de complexidade .....</b>	<b>73</b>



## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> - Conceitos para medição em processos de negócios .....	15
<b>Figura 2</b> - Exemplo de gráfico de fluxo de controle de um software .....	24
<b>Figura 3</b> - Definição de métricas e fases de validação. ....	32
<b>Figura 4</b> - Estruturação da pesquisa .....	36
<b>Figura 5</b> - Modelo de processo exemplo .....	48
<b>Figura 6</b> - Histogramas das variáveis CFC e Grau de Sequenciamento.....	54
<b>Figura 7</b> – Resultado de limiares de complexidade para CFC e Grau de Sequenciamento. ....	60
<b>Figura 8</b> – Comparação entre resultados do estudo e definidos por Gonzáles <i>et al.</i> (2011) .....	62

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1</b> - Cálculo do CFC do modelo de processo exemplo .....	49
<b>Tabela 2</b> - Medição de complexidade da amostra estudada. ....	51
<b>Tabela 3</b> - Matriz de correlação entre CFC e Grau de Sequenciamento .....	52
<b>Tabela 4</b> - Medidas estatísticas das variáveis CFC e Grau de Sequenciamento.....	53
<b>Tabela 5</b> - Medidas estatísticas para construção do gráfico <i>boxplot</i> para o CFC .....	55
<b>Tabela 6</b> - Elementos do modelo de processo P12 .....	56
<b>Tabela 7</b> - Medidas de variabilidade da amostra original e sem o <i>outlier</i> .....	57
<b>Tabela 8</b> - Medidas estatísticas para construção do <i>boxplot</i> para o Grau de Sequenciamento...	58
<b>Tabela 9</b> - Elementos dos modelos de processo de complexidades destoantes .....	64

## LISTA DE QUADROS

<b>Quadro 1</b> - Notações de modelagem de processos.....	19
<b>Quadro 2</b> - Similaridades entre modelos de processos de negócios e <i>softwares</i> .....	20
<b>Quadro 3</b> - Atribuição de prioridade e peso dos tipos de componentes de estrutura .....	27
<b>Quadro 4</b> - Lista de métricas de complexidade para processos de negócio .....	34
<b>Quadro 5</b> - Propriedades de Weyuker.....	38
<b>Quadro 6</b> - Avaliação das métricas sob a ótica de Weyuker e critérios da pesquisa .....	46
<b>Quadro 7</b> - Níveis de complexidade para as métricas CFC e Grau de Sequenciamento.....	61
<b>Quadro 8</b> - Classificação de complexidade dos modelos de processos .....	63
<b>Quadro 9</b> - Matriz de classificação dos processos analisados.....	63

## LISTA DE GRÁFICOS

<b>Gráfico 1</b> – Grau de dispersão entre as variáveis CFC e Grau de Sequenciamento.....	52
<b>Gráfico 2</b> - <i>Boxplot</i> para conjunto de dados da variável CFC .....	56
<b>Gráfico 3</b> - <i>Boxplot</i> da amostra original e com a retirada do <i>outlier</i> para o CFC.....	57
<b>Gráfico 4</b> - <i>Boxplot</i> para conjunto de dados da variável Grau de Sequenciamento .....	59

# LISTA DE SIGLAS E SÍMBOLOS

ABPMN	<i>Association of Business Process Management Professionals</i>
AND	<i>Gateways paralelos</i>
ANSI	<i>American National Standards Institute</i>
ARIS	<i>Architecture of Integrated Information Systems</i>
BDTD	<i>Biblioteca Digital de Teses e Dissertações</i>
BPEL	<i>Business Process Execution Language</i>
BPM	<i>Business Process Management</i>
BPMN	<i>Business Process Model and Notation</i>
CC	<i>Cross-Connectivity Metric</i>
CFC	<i>Control-Flow Complexity</i>
CFC	<i>Control-Flow Complexity</i>
CV	<i>Coeficiente de variação</i>
CYC <sub>N</sub>	<i>Grau de ciclicidade do processo</i>
DSM	<i>Dufree Square Metric</i>
ECaM	<i>Extended Cardoso's Metric</i>
ECyM	<i>Extended Cyclomatic Metric</i>
EPC	<i>Event-driven Process Chain</i>
EUA	<i>Estados Unidos da América</i>
IBICT	<i>Instituto Brasileiro de Informação em Ciência e Tecnologia</i>
IDEF	<i>Integrated Definition Language</i>
IEEE	<i>Institute of Electrical and Electronics Engineers</i>
LOC	<i>Lines of Code</i>
MCC	<i>Métrica de Complexidade Ciclômática</i>
OMG	<i>Object Management Group</i>
OR	<i>Gateways Inclusivos</i>
PSM	<i>Perfect Square Metrics</i>
SciELO	<i>Scientific Electronic Library Online</i>
SM	<i>Structuredness Metric</i>
SSM	<i>Simple Square Metrics</i>
TS	<i>Grau de paralelismo do modelo</i>
UML	<i>Unified Modeling Language</i>
XOR	<i>Gateways exclusivos</i>
ΦN	<i>Grau de estruturação do processo</i>
S <sub>N</sub>	<i>Tamanho do Processo</i>
Π	<i>Grau de separação do processo</i>
Ξ	<i>Grau de sequenciamento do processo</i>

# 1 INTRODUÇÃO

## 1.1. CONTEXTUALIZAÇÃO

A gestão das organizações evolui a cada dia. Aquela visão antiga e limitada de que basta que cada parte cumpra suas tarefas para que uma organização obtenha seus resultados não é compatível com a dinamicidade do mercado competitivo que observamos atualmente. (VALLE e OLIVEIRA, 2013).

Para acompanhar este cenário, as empresas investem bastante em projetos na tentativa de criar novas técnicas, ferramentas e procedimentos para absorver mais rapidamente as necessidades dos clientes e desenvolver as soluções que agreguem mais valor para seus *stakeholders*. (FREEMAN, HARRISON e WICKS, 2007). Baldam, Valle e Rozenfeld (2014, p.14) afirmam que:

“O ambiente de atuação das organizações coloca-se como elemento demandador de integração, dinâmica, flexibilidade e inovação. Para lidar com as necessidades impostas por esses fatores, os processos se apresentam como um elemento central”.

Valle e Oliveira (2013) corroboram com esta ideia ao afirmar que todas as abordagens com enfoque em melhorias na gestão da produção surgidas depois dos anos 80 tem como centro a visão de processos.

A orientação por processos faz com que a organização trabalhe com todas as dimensões do negócio, focando os esforços para adquirir vantagens competitivas. Ao adotar esta visão do negócio, as organizações devem empreender esforços para continuamente melhorar e otimizar os processos de negócio da empresa (BALDAM, VALLE e ROZENFELD, 2014). Esta é a ideia por trás do Gerenciamento de Processos de Negócios (*Business Process Management* – BPM). De acordo com Baldam, Valle e Rozenfeld (2014, p.4):

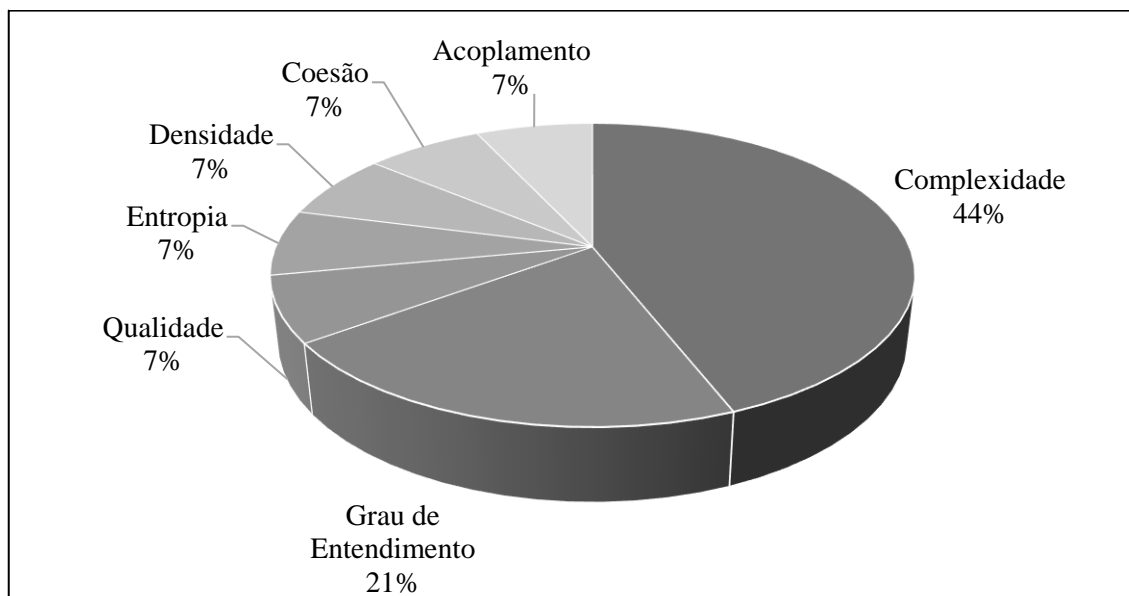
“O BPM é uma abordagem disciplinada para identificar, desenhar, executar, documentar, implantar, medir, monitorar, controlar e melhorar processos de negócio com o objetivo de alcançar resultados consistentes e alinhados com as estratégias de uma organização”.

Processos de negócios bem arquitetados são aqueles em que a alta gerência da organização define medições de desempenho e influenciam a performance deste para a direção desejada, utilizando, para isto, medições para controlá-lo (POWELL, SCHWANINGER e TRIMBLE, 2001). Estas medições são essenciais para organizações que pretendem atingir um nível elevado

na qualidade de seus processos e nos produtos/serviços que produzem. Portanto, a medição dos processos é indispensável para guiar a organização na direção de seus objetivos de negócios.

Cardoso (2008) afirma que diversos estudos foram empreendidos para desenvolver métodos de medição de processos. Este conjunto de abordagens visa quantificar propriedades específicas dos processos, a saber: complexidade, defeitos, tamanho do processo, esforço de testes, esforço de manutenção, compreensibilidade, tempo, recursos e qualidade de serviço. Desses estudos, González *et al.* (2010) afirmam que cerca de 44% das propostas para medição em processos de negócio têm como conceito principal a complexidade do processo. Este resultado pode ser observado na Figura 1.

Figura 1 - Conceitos para medição em processos de negócios



Fonte: González *et al.* (2010, p. 120)

Assim, as métricas para medição de processos são importantes para atribuir valor numérico para determinadas características de um modelo de processo. Medições como a de complexidade podem e devem ser usadas para melhorar a produtividade e qualidade do processo.

## 1.2. JUSTIFICATIVA

Cappelli *et al.* (2009) afirmam que iniciativas em modelagem de processos de negócio são conduzidas em diversas organizações que buscam os benefícios do BPM ao redor do mundo. Para melhorar o BPM, empresas contratam consultorias que realizam projetos para que a modelagem dos processos seja confiável e condizente com o que acontece na organização. Para condução destes projetos são utilizadas em geral práticas de gestão já bastante conhecidas tanto no meio

acadêmico quanto no mercado, entretanto algumas características dos processos ainda não são consideradas para tomar decisões (CAPPELLI *et al.*, 2009).

Uma das primeiras etapas realizadas em um projeto desta natureza é um levantamento inicial para definir: o escopo do projeto; uma estimativa de esforço necessário para a conclusão do projeto; e, um número estimado de alocação de profissionais ao longo do tempo (CAPPELLI *et al.*, 2009). Entretanto, não são encontradas ferramentas adequadas para estimar o esforço a ser empreendido na execução de um projeto de modelagem de processos.

Diante disso, este trabalho busca estudar meios que facilitem a estimativa dos recursos necessários para a execução de projetos de mapeamento, por meio da medição da complexidade dos modelos de processos.

### **1.3. OBJETIVOS**

#### **1.3.1. Objetivo geral**

Este trabalho visa identificar as medições de complexidade em processos disponíveis na literatura e selecionar métricas para subsidiar a estimativa de esforço para a tomada de decisão na abertura, realização e encerramento de projetos de modelagem de processos de negócio.

#### **1.3.2. Objetivos específicos**

- a) Realizar uma revisão da literatura sobre medição de complexidade em processos de negócios;
- b) Avaliar as métricas que visam medir a complexidade de processos de negócios, a fim de identificar as que melhor se adequam para aplicação em projetos de mapeamento de processos;
- c) Aplicar as métricas de complexidade selecionadas aos processos de uma organização pública de grande porte;
- d) Identificar níveis de complexidade de processos com base nos resultados obtidos.

### **1.4. ESTRUTURA DO TRABALHO**

Com a finalidade de explorar com maior profundidade a temática de análise de complexidade em processos, a estrutura desse trabalho é composta por seis capítulos, subdivididos em suas respectivas seções e subseções.



O Capítulo 1 expõe uma introdução ao tema abordado pelo trabalho, explanando o contexto concernente aos projetos de mapeamento de processos e sua importância para a atual conjuntura das organizações. Também é introduzido neste capítulo o âmbito dos métodos de medições em processos de negócio, justificativa e os objetivos deste estudo.

O Capítulo 2 apresenta o referencial teórico do trabalho, onde são definidos os principais conceitos envolvidos na modelagem de processos. Também são apresentados neste capítulo a definição de complexidade em modelos de processos, bem como as métricas utilizadas para medir esta característica.

O Capítulo 3 mostra a metodologia de pesquisa selecionada para desenvolvimento deste trabalho, elencando a natureza, abordagem e estratégia de pesquisa adotadas, além das técnicas de coleta de dados utilizadas e a estrutura da pesquisa para que se alcancem os objetivos da pesquisa.

No Capítulo 4, as características de cada métrica encontrada na literatura são discutidas de acordo com os critérios definidos, a fim de selecionar as que melhor se adequam para aplicação em projetos de mapeamento de processos. Em seguida, são apresentados os procedimentos para medição da complexidade com as métricas selecionadas, a fim de exemplificar e facilitar o entendimento da análise subsequente e seus resultados.

O Capítulo 5 apresenta uma análise exploratória dos dados coletados através da medição da complexidade de processos mapeados em uma organização pública de grande porte, obtidos por meio de um projeto realizado por professores e alunos do curso de Engenharia de Produção da Universidade de Brasília (UnB). A partir da análise, são apresentados os níveis de complexidade para cada métrica e uma discussão acerca das implicações deste resultado.

Por fim, o Capítulo 6 discorre sobre as considerações finais e sugestões para trabalhos futuros.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

*O presente capítulo relaciona temas importantes para fundamentar a proposta deste trabalho. A seção 2.1 apresenta os conceitos fundamentais para compreender a modelagem de processos. A seção 2.2 traz uma contextualização das medições de complexidade em processos de negócio. Na seção 2.3 são apresentadas de forma detalhada as métricas para medição de complexidade propostas na literatura. Na seção 2.4 são apontados os métodos para validação de métricas de complexidade e a seção 2.5 apresenta um resumo das métricas*

### 2.1. MODELAGEM DE PROCESSOS DE NEGÓCIO

Para compreender o esforço de mapear (ou modelar) processos, é fundamental conhecer os principais conceitos envolvidos em mapeamento de processos de negócio.

- **Processos de negócio:** O conceito de processos é extremamente difundido e encontrado nas mais diversas formas devido à utilização em diferentes contextos. Entretanto, uma definição sucinta apresentada por Baldam, Valle e Rozenfeld (2014) aborda o processo como “um conjunto de atividades inter-relacionadas ou interativas, que transformam entradas em saídas. Usualmente possui característica de repetitividade”. Além disso, a *Association of Business Process Management Professionals* – ABPMP (2013) complementa afirmando que o processo de negócio contempla a agregação de atividades e comportamentos executados por humanos ou máquinas para alcançar os resultados;
- **Mapeamento (ou modelagem) de processos de negócio:** é a atividade que busca criar uma representação (com maior ou menor grau de formalidade) abstrata da realidade, num dado contexto (BALDAM, VALLE e ROZENFELD, 2014).

O propósito da modelagem é criar uma representação do processo de maneira completa e precisa sobre seu funcionamento. Por este motivo, o nível de detalhamento e o tipo específico de modelo têm como base o que é esperado da iniciativa de modelagem. Um diagrama simples pode ser suficiente em alguns casos, enquanto um modelo completo e detalhado pode ser necessário em outros. (ABPMN, 2013)

### 2.1.1. Modelo de processo de negócio

O modelo de processo é o resultado do mapeamento de um processo, representando graficamente os processos de negócio existentes ou propostos. De acordo com a ABPMP (2013, p.72), “um modelo de processos de negócio completo normalmente representará diversas perspectivas, servindo a diferentes propósitos”.

Um modelo de processos inclui ícones que representam atividades, eventos, decisões, condições e outros elementos do processo. Um modelo de processos pode conter ilustrações e informações sobre:

- Os ícones (representam elementos do processo)
- Os relacionamentos entre os ícones
- Os relacionamentos dos ícones com o ambiente
- Como os ícones se comportam ou o que executam

Ao longo dos anos foram desenvolvidas diversas linguagens (ou notações) para representar os modelos de processo de negócio. Uma notação, de acordo com a ABPMP (2013), é um conjunto padronizado de símbolos e regras que determinam o significado destes símbolos. Há uma quantidade significativa de notações para representação dos processos de negócios (BALDAM, VALLE e ROZENFELD, 2014). O Quadro 1 lista as notações mais utilizadas para criar modelos de negócio, bem como uma descrição resumida de cada uma delas.

**Quadro 1** - Notações de modelagem de processos.

Notação	Descrição
BPMN ( <i>Business Process Model and Notation</i> )	Padrão criado pelo <i>Object Management Group</i> (OMG), útil para apresentar um modelo para públicos-alvo diferentes
Fluxograma	Originalmente aprovado como um padrão ANSI ( <i>American National Standards Institute</i> ), inclui um conjunto simples e limitado de símbolos não padronizados; facilita entendimento rápido do fluxo de um processo
EPC ( <i>Event-driven Process Chain</i> )	Desenvolvido como parte da estrutura de trabalho ARIS ( <i>Architecture of Integrated Information Systems</i> ), considera eventos como "gatilhos para" ou "resultados de" uma etapa do processo; útil para modelar conjuntos complexos de processos
UML ( <i>Unified Modeling Language</i> )	Mantido pelo OMG, consiste em um conjunto-padrão de notações técnicas de diagramação orientado à descrição de requisitos de sistemas de informação
IDEF ( <i>Integrated Definition Language</i> )	Padrão da <i>Federal Information Processing Standard</i> dos Estados Unidos (EUA) que destaca entradas, saídas, mecanismos, controles de processo e relação dos níveis de detalhe do processo superior e inferior; ponto de partida para uma visão corporativa da organização
<i>Value Stream Mapping</i>	Do <i>lean manufacturing</i> , consiste em um conjunto intuitivo de símbolos usados para mostrar a eficiência de processos por meio do mapeamento de uso de recursos e elementos de tempo

Fonte: ABPMP (2013, p. 79)

Dentre as notações apresentadas no Quadro 1, destaca-se a notação BPMN. Segundo Kluza e Nalepa (2012), a notação criada pelo *Object Management Group* é a mais difundida pelo mundo, devido à sua simplicidade de representação e entendimento. Esta notação apresenta um conjunto robusto de símbolos para modelagem de diferentes aspectos de processos de negócio. Como na maioria das notações, os símbolos descrevem relacionamentos claramente definidos, tais como fluxo de atividades e ordem de precedência (ABPMN, 2013).

## 2.2. COMPLEXIDADE EM PROCESSOS DE NEGÓCIO

Nas últimas décadas, diversos pesquisadores propuseram formas de medições para avaliar a complexidade, compreensibilidade e manutenibilidade de *softwares*. Existem centenas de medições de complexidade em *software* descritas e publicadas por diversos pesquisadores (CARDOSO *et al.*, 2006c). Um exemplo clássico de medição de complexidade em software é a LOC (*Lines of Code* – Linhas de Código) que calcula, de modo simples, o número de linhas do código executável, declarações de dados, comentários, etc. Mesmo sendo extremamente simples, a métrica LOC se mostra muito útil em correlacionar a complexidade com o número de erros nos programas.

Existe uma estreita relação entre *software* e processos de negócios. Por exemplo, ambas possuem estruturas lógicas com entradas, operações e saídas, seja na forma de funções ou atividades (GUCEGLIOGLU e DEMIRORS, 2005). Os produtos dos *softwares* são análogos as entregas do processo de negócio. Cardoso (2006a) afirma que um processo modelado com uma linguagem como a BPEL (*Business Process Execution Language*) pode ser compreendido como um programa de *software* que foi particionado em módulos ou funções (atividades do processo de negócio). Assim, as métricas utilizadas para medir a complexidade de programas de *software*, como a LOC por exemplo, podem ser analogamente adaptadas para realizar medições de complexidade em processos de negócio. A seguir, o Quadro 2 mostra alguns conceitos básicos similares entre modelos de processos de negócios e *softwares*.

Quadro 2 - Similaridades entre modelos de processos de negócios e *softwares*

<b><i>Software</i></b>	<b>Modelos de Processos de Negócio</b>
Classes / Pacotes	Sub-processos / Processos
Métodos / Funções	Atividades
Invocação de Métodos / Funções	Fluxo de Controle ou Mensagens Chegando a uma Atividade
Variáveis / Constantes	Objetos de Dados
Linhas de Comentários	Anotações

Fonte: Kluza e Nalepa (2012, p. 920)

Em diversos trabalhos, estudiosos (KLUZA, 2015; CARDOSO, 2008; GRUHN e LAUE, 2006) definem complexidade em processos de acordo com o dicionário padrão do *Institute of Electrical and Electronics Engineers* (IEEE). Segundo o IEEE (1990), complexidade é o grau com que um processo seja difícil de analisar, entender ou explicar. Pode ser caracterizada pelo número e complexidade das interfaces de atividade, transições, desvios condicionais e paralelos, pela existência de *loops*, papéis, categorias de atividades, pelos tipos de estruturas de dados e outras características do processo.

### **2.2.1. Requisitos para medição de complexidade**

Cardoso (2008) afirma que o desenvolvimento de um modelo para calcular a complexidade associada a um processo precisa estar de acordo com um conjunto de propriedades básicas, porém muito importantes. A métrica deve ser fácil de aprender, fácil de utilizar, consistente e objetiva. As seguintes propriedades são desejáveis:

- Simplicidade: A métrica deve ser de fácil entendimento por seus usuários finais (analistas de processos).
- Consistência: A métrica deve sempre retornar o mesmo valor quando dois usuários independentes realizarem a medição de um mesmo processo.
- Automação: A medição de um processo deve sempre ser passível de automação.
- Medição deve ser aditiva: Se duas estruturas independentes são postas em sequência, então a complexidade total da combinação deve ser, no mínimo, a soma das complexidades das estruturas independentes.
- Medições devem ser interoperáveis: Devido à grande variedade de linguagens para modelagem de processos, a métrica deve ser independente da linguagem utilizada para desenhar o processo.

### **2.2.2. Perspectivas para medição de complexidade**

Existem diversas métricas que podem ser utilizadas para medir a complexidade de um processo – algumas serão apresentadas mais adiante – e cada métrica é baseada em uma ou mais perspectivas de complexidades, herdadas pelas métricas utilizadas para avaliação de software. Para Cardoso (2008), existem quatro principais perspectivas de complexidade em processos que podem ser identificadas:

- a) **Complexidade por Atividades:** esta perspectiva, de modo simples, calcula o número de atividades que o processo possui. Ao mesmo tempo que é simples, a complexidade por atividades é muito importante para complementar outras métricas de complexidade;
- b) **Complexidade por Fluxo de Controle:** o comportamento do fluxo de controle de um processo é afetado por elementos como divisões e unificações do fluxo (*gateways*). As divisões no fluxo permitem definir os possíveis caminhos a serem controlados no processo. Já as unificações expressam o tipo de sincronização que deve ser feito em um ponto específico no processo. A complexidade pode ser definida por meio da identificação do número de estados mentais contidos na modelagem das divisões e unificações do fluxo;
- c) **Complexidade por Fluxo de Dados:** a complexidade por fluxo por dados de um processo aumenta com a complexidade de sua estrutura de dados, o número de parâmetros formais de atividades e o mapeamento entre informações de atividades;
- d) **Complexidade por Recursos:** as atividades, em um processo, necessitam acessar recursos durante sua execução. Por recursos, entende-se qualquer entidade (recursos humanos, sistemas e tecnologia da informação) exigidos por uma atividade para sua execução. A estrutura que é usada para formar os vários tipos de recursos em um processo, pode ser analisada para determinar sua complexidade. Esta perspectiva contribui para a redução de custos administrativos e a otimização da utilização de recursos.

## 2.3. MÉTRICAS DE COMPLEXIDADE EM PROCESSOS

Ao longo dos últimos anos, diversos pesquisadores propuseram uma infinidade de métricas para avaliar a qualidade dos processos de negócios. A medição da complexidade tem se tornado cada vez mais importante, pois visa determinar o quão difícil a compreensão, a manutenção e a padronização de um modelo de processo pode ser, afetando assim o entendimento dos *stakeholders* e analistas de processos (KLUZA, 2015).

Nos próximos tópicos, serão apresentados, segundo a literatura, as diferentes métricas aplicadas à avaliação da complexidade em processos.

### 2.3.1. Control-Flow Complexity Metric

Cardoso (2008) afirma que o comportamento de controle de fluxo de um processo é afetado por elementos como divisões e unificações do fluxo (*gateways*). As divisões de fluxo permitem definir os possíveis caminhos de controle que existem ao longo do processo. Já as unificações expressam o tipo de sincronização que deve ser feita em um ponto específico no processo. Esta

métrica se propõe a identificar o número de estados mentais ao qual os analistas de processos são submetidos em uma estrutura de divisão ou unificação do fluxo de um processo modelado. (CARDOSO, 2006b)

O uso da métrica CFC (*Control-Flow Complexity*) permite que a equipe de analistas aperfeiçoe os processos através da redução do tempo gasto para leitura e entendimento dos processos no intuito de remover falhas ou adaptá-los à novas exigências da organização e de seus clientes (CARDOSO, 2008). A análise do CFC visa avaliar a complexidade sem execução direta de processos.

O CFC é baseado na Métrica de Complexidade Ciclométrica (MCC) proposta por McCabe (1976), criada com a finalidade de medir a complexidade dos gráficos de fluxo de controle de um software. O MCC é abordado no tópico a seguir.

#### 2.3.1.1. Complexidade Ciclométrica de McCabe

A complexidade ciclométrica (ou complexidade condicional) é medida pela quantidade de caminhos de execução independentes a partir do gráfico de fluxo de controle de um código fonte. Os nós do gráfico correspondem a grupos indivisíveis de comandos. Um conector liga dois nós se o segundo comando pode ser executado imediatamente após o primeiro.

A complexidade ciclométrica também pode ser aplicada a funções, módulos, métodos ou classes individuais de um programa (MCCABE, 1976). O MCC pode ser calculado de acordo com a Equação 1:

$$M = E - N + 2 \quad (1)$$

Onde:

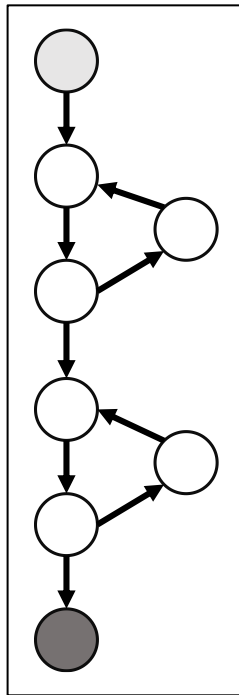
M = Complexidade Ciclométrica

E = Número de Conectores

N = Número de Nós

A Figura 2 apresenta um exemplo de gráfico de fluxo de controle de um software, a fim de exemplificar a medição da complexidade utilizando o MCC.

Figura 2 - Exemplo de gráfico de fluxo de controle de um software



Fonte: Elaboração própria.

Calculando a complexidade ciclomática do gráfico de fluxo de controle apresentado na Figura 2, temos que  $M = 9 - 8 + 2 = 3$ .

A partir da medição da complexidade ciclomática, McCabe (1976) procura capturar uma base quantitativa para realizar a modularização de *software* que serão difíceis de testar ou manter.

#### 2.3.1.2. Cálculo do CFC

Para calcular a complexidade pelo fluxo de controle, é necessário classificar os diferentes tipos de divisores do fluxo de um modelo. Os divisores de fluxo podem ser do tipo XOR, OR ou AND:

- Divisores de Fluxo XOR: neste caso apenas uma alternativa de direção do fluxo seguirá pelo modelo do processo;
- Divisores de Fluxo OR: neste caso o divisor permite que uma ou mais alternativas de direção do fluxo sigam pelo modelo do processo;
- Divisores de Fluxo AND: neste caso o divisor permite que todas as alternativas de direção do fluxo sigam pelo modelo do processo paralelamente.



Para medir a complexidade do fluxo de controle (CFC) o autor propõe três fórmulas para contabilizar o número de estados mentais que podem ser alcançadas a partir de uma das três construções de controlador de fluxo (XOR, OR e AND). A seguir, são apresentadas as fórmulas que mensuram o CFC:

- a) A complexidade de um divisor de fluxo XOR “a” é diretamente proporcional ao número de atividades que o seguem (ou número de saídas):

$$CFC_{XOR}(a) = n^{\circ} \text{ de saídas} \quad (2)$$

- b) A complexidade de um divisor de fluxo OR “a” é determinada pelo número de combinações das atividades que o seguem (ou número de saídas):

$$CFC_{OR}(a) = 2^{n^{\circ} \text{ de saídas}} - 1 \quad (3)$$

- c) Como todas as alternativas de direção do fluxo serão seguidas, a complexidade de um divisor de fluxo AND “a” é sempre 1:

$$CFC_{AND}(a) = 1 \quad (4)$$

Quanto maior for o valor do  $CFC_{XOR}$ ,  $CFC_{OR}$  e  $CFC_{AND}$ , maior será a complexidade associada à modelagem de um processo, uma vez que todos os estados mentais envolvidos nas estruturas controladoras de fluxo devem ser entendidos e modelados.

O CFC absoluto de um processo “P” é definido como a soma dos CFC’s das estruturas de fluxo de controle contidas no processo, como descrito pela fórmula a seguir:

$$CFC_{abs}(P) = \left( \sum_{i \in (XOR \text{ de } P)} CFC_{XOR}(i) \right) + \left( \sum_{j \in (OR \text{ de } P)} CFC_{OR}(j) \right) + \left( \sum_{k \in (AND \text{ de } P)} CFC_{AND}(k) \right) \quad (5)$$

Quanto maior for o CFC absoluto do processo “P” maior será a complexidade global do processo.

### 2.3.2. *Structuredness Metric*

Lassen e Van Der Aalst (2009) definem três métricas para medir a complexidade de modelos de processo. Duas delas, Métrica de Cardoso Estendida (*Extended Cardoso's Metric* – ECaM) e a Métrica Ciclômática Estendida (*Extended Cyclomatic Metric* – ECyM), são extensões de métricas já apresentadas nos tópicos anteriores (Complexidade dos Controladores de Fluxo e Complexidade Ciclômática de McCabe, respectivamente) que buscam adaptar sua aplicação para outras linguagens de modelagem matemática para a descrição de sistema distribuído, como as redes de Petri, e não possuem significantes diferenças das métricas originais.

A terceira métrica, segundo os autores, “é uma nova métrica que visa captar melhor a complexidade do modelo tal como é perceptível por seres humanos” (LASSEN e VAN DER AALST, 2009). A *Structuredness Metric* (SM) analisa iterativamente a estrutura da modelagem do processo e atribui penalidades para estruturas indesejáveis do ponto de vista complexidade.


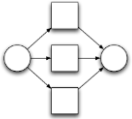
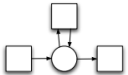
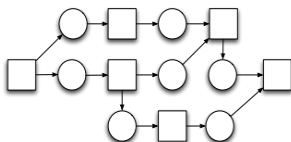
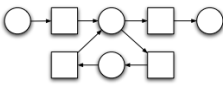
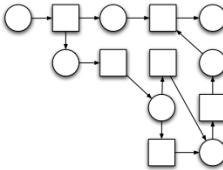
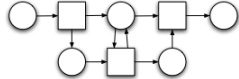
A SM busca abranger, além da sintaxe dos processos modelados, o comportamento da complexidade do processo. A ideia por trás desta métrica decorre da observação de que a estrutura de um processo está sujeita aos padrões de modelagem adotados para desenhá-lo. Um processo modelado pode apresentar estruturas simples, como sequenciais, de escolha, iterativas etc., ou estruturas de controle de fluxo mais avançadas. A SM busca reconhecer os diferentes tipos de estruturas utilizados no modelo e atribui uma pontuação que varia de acordo com o grau de complexidade apresentado. A soma dessas pontuações define a complexidade do processo.

Para medir a complexidade de um processo utilizando a SM, é necessário definir os tipos de componentes de estrutura de modelagem de processo. Os tipos de componentes de estrutura são:

- a) Sequencial;
- b) Escolha (*if*);
- c) Enquanto (*while*);
- d) *Marked Graph*: todos os elementos possuem apenas uma entrada e uma saída;
- e) Máquina de estados;
- f) Bem estruturado: sistema de estados infinitos;
- g) Não estruturado: não classificado em nenhuma alternativa anterior.

Uma vez identificado o tipo de componente da estrutura, é necessário atribuir sua prioridade ( $\rho$ ) e calcular a pontuação de cada componente. O Quadro 3 indica a prioridade  $\rho$  e a equação utilizada em cada caso para calcular o peso de cada tipo de componente definido anteriormente.

Quadro 3 - Atribuição de prioridade e peso dos tipos de componentes de estrutura

Tipo de componente de estrutura	Representação	Prioridade	Pontuação
Sequencial		1	$\sum n^{\circ} \text{ de Transições}$
Escolha (if)		2	$1,5 \times \sum n^{\circ} \text{ de Transições}$
Enquanto (while)		3	$\sum n^{\circ} \text{ de Transições entrada} + \sum n^{\circ} \text{ de Transições saída}$
Marked Graph		4	$2 \times \sum n^{\circ} \text{ de Transições}$
Máquina de estados		5	$2 \times \sum n^{\circ} \text{ de Posições}$
Bem estruturado		6	$2 \times \sum n^{\circ} \text{ de Posições} \times \sum n^{\circ} \text{ de Transições}$
Não estruturado		7	$5 \times \sum n^{\circ} \text{ de Posições} \times \sum n^{\circ} \text{ de Transições}$

Fonte: Elaboração própria. Baseado em Lassen e Van Der Aalst (2009)

É importante ressaltar que a métrica proposta por Lassen e Van Der Aalst (2009) é baseada nos elementos comumente encontrados nas redes de Petri (posições, transições, arcos etc.).

O valor da complexidade atribuída ao processo utilizando a SM consiste no peso encontrado pelo uso das fórmulas do Quadro 3. Nota-se que, quanto maior a prioridade atribuída ao tipo de componente de estrutura, maior é o coeficiente indicado na fórmula. Quanto maior o resultado da aplicação do SM, maior a complexidade do processo avaliado.

### 2.3.3. **Cross-Connectivity Metric**

Vanderfeesten *et al.* (2008) afirmam que para definir a complexidade de um processo mapeado é necessária uma abordagem que considere o esforço cognitivo empreendido pelos *stakeholders* para compreender o modelo. A métrica proposta (Cross-Connectivity – CC) foi desenvolvida com base em pesquisas cognitivas em linguagens de programação visual. A métrica CC busca capturar o esforço cognitivo para compreender a relação entre qualquer par de elementos em um modelo de processo. As definições de Cardoso (2008) para as divisões XOR, OR e AND, descritas anteriormente, são utilizadas pela métrica CC. A métrica é estruturada por cinco definições, explicadas nos itens subsequentes.

- a) **Peso de um nó:** um nó “ $n_i$ ”, em um processo modelado, é qualquer atividade “T” ou controlador de fluxo “C” (divisores ou unificadores de fluxo - *gateways*). Já o peso “ $w_i$ ” de um nó é definido a seguir:

$$w(n) = \begin{cases} 1, & \text{se } n \in C, \text{ tipo AND} \\ \frac{1}{d}, & \text{se } n \in C, \text{ tipo XOR} \\ \frac{1}{2^d - 1} + \frac{2^d - 2}{2^d - 1} \times \frac{1}{d}, & \text{se } n \in C, \text{ tipo OR} \\ 1, & \text{se } n \in T, \end{cases} \quad (6)$$

Onde:

$d$  = número de entradas e saídas de um nó

- b) **Peso de um conector:** o peso “W” de um conector “a” que liga dois nós  $n_1$  e  $n_2$  é definido a seguir:

$$W(a) = w(n_1) \times w(n_2) \quad (7)$$

- c) **Valor de um caminho:** o valor “v” atribuído a um caminho “p” formado por diversos conectores  $\langle a_1, a_2, a_3, \dots, a_x \rangle$  é definido a seguir:

$$v(p) = W(a_1) \times W(a_2) \times W(a_3) \times \dots \times W(a_x) \quad (8)$$

- d) **Valor de uma conexão:** o valor “V” atribuído a uma conexão entre dois nós  $n_1$  e  $n_2$  realizada concomitantemente por dois caminhos  $p_1$  e  $p_2$  é definido a seguir:

$$V(n_1, n_2) = \max_{p_i \in [p_1 p_2]} v(p) \quad (9)$$

- e) **Valor da complexidade CC:** a métrica *Cross-Connectivity* é definida a seguir:

$$CC = \frac{\sum_{n_1, n_2 \in N} V(n_1, n_2)}{|N| \times (|N| - 1)} \quad (10)$$

Quanto menor o valor resultante medido pela métrica CC, maior será a complexidade atribuída ao processo mapeado, pois ele será mais difícil de ser modelado e mais difícil de ser compreendido pelos *stakeholders*.

#### 2.3.4. **Simple Square Metric**

Em seu trabalho, Kluza e Nalepa (2012) afirmam que a BPMN é a notação mais difundida para modelagem de processos de negócio e as métricas encontradas até então na literatura não abrangem completamente esta linguagem, necessitando assim de uma adaptação para esta finalidade.

A fim de contornar tal questão, os autores propuseram a *Simple Square Metrics* (SSM). Esta métrica é baseada em dois conceitos que a compõem: *Dufree Square Metric* (DSM), que avalia a distribuição de tipos de elementos em um processo ( $d$  = número de tipos de elementos que ocorrem pelo menos  $d$  vezes); *Perfect Square Metrics* (PSM), que contabiliza o maior número de instâncias dos tipos de elementos “ $p$ ” (ordenados hierarquicamente) que ocorram  $p^2$  vezes.

Quanto maior o valor DSM e PSM, maior será a complexidade do processo modelado.

### 2.3.5. Error Metrics

Mendling e Neumann (2007) afirmam que a capacidade cognitiva humana é um fator limitante para entender as inter-relações entre elementos na modelagem de processos grandes e complexos, o que pode levar a produção de erros que prejudicam o entendimento e a melhoria de processos mapeados. A partir disso, os autores consideram importante conhecer quais determinantes levam a uma maior probabilidade de erros em modelos de processos e, o mais importante, como medir essas determinantes.

Os fatores determinantes de erro em modelos de processos são: a estrutura do modelo de processo e; estado de espaço do modelo de processo. Para cada determinante, os autores definem diversos sub-determinantes para discutir seu impacto na probabilidade de erro do modelo, descritos abaixo:

- a) **Tamanho do processo:** o tamanho “ $S_N$ ” de um processo “ $P$ ” será determinado pelo número de nós encontrados no modelo ( $S_n$ ). Nesta métrica, os autores consideram que o conjunto de nós “ $N$ ” é composto de atividades, controladores de fluxo (*gateway*) e conectores:

$$s_n(P) = |N| \quad (11)$$

- b) **Grau de separação do processo:** a existência de nós “ $n$ ” cuja eliminação separa o modelo do processo em vários componentes. Quanto maior o grau de separação de um processo, menor será probabilidade de erros associados ao fluxograma. O grau de separação “ $\Pi$ ” do processo “ $P$ ” é dado por:

$$\Pi(P) = \frac{n}{N - 2} \quad (12)$$

- c) **Grau de sequenciamento do processo:** está relacionado à quantidade de sequências de atividades consecutivas em um modelo de processo. Quanto maior o grau de sequenciamento de um processo, menor será probabilidade de erros associados ao fluxograma. O grau de sequenciamento “ $\Xi$ ” de um processo “ $P$ ” é dado pela razão entre número de conectores em sequência “ $a$ ” e o número total de conectores “ $A$ ”:

$$\Xi(P) = \frac{a}{A} \quad (13)$$

- d) **Grau de estruturação do processo:** está relacionado à tendência que um processo apresenta de ser modelado com divisores e unificadores de fluxo aninhados. Quanto maior o grau de estruturação de um processo, menor será probabilidade de erros associados ao fluxograma. O grau de estruturação “ $\Phi_N$ ” do processo pode ser determinado por aplicação de regras de redução<sup>1</sup> e pela comparação do tamanho reduzido do modelo “ $P'$ ” para o tamanho original “ $P$ ”:

$$\Phi_N = 1 - \frac{S_N(P')}{S_N(P)} \quad (14)$$

- e) **Grau de ciclicidade do processo:** as partes cíclicas de um processo são compreendidas com uma dificuldade maior do que as partes sequenciais. Um aumento no grau de estruturação de um processo implica numa maior probabilidade de erros associados ao fluxograma. O grau de ciclicidade “ $CYC_N$ ” de um processo é dado pela razão entre o número de nós “ $N_c$ ” contidos em partes cíclicas de um processo e o número total de nós do modelo “ $N$ ”:

$$CYC_N = \frac{|N_c|}{|N|} \quad (15)$$

- f) **Grau de paralelismo do modelo:** controladores de fluxo do tipo AND e OR introduzem novos fluxos a serem controlados, aumentando a probabilidade de erros no modelo. Quanto maior o grau de paralelismo de um processo, maior será probabilidade de erros associados ao fluxograma. O grau de paralelismo “ $TS$ ” é determinado pelo somatório do número de saídas “ $d$ ” dos controladores AND e OR “ $n$ ” de um processo “ $P$ ”:

$$TS(P) = \sum d(n) - 1 \quad (16)$$

A partir dos valores encontrados, uma análise pode ser realizada para determinar a complexidade do processo modelado.

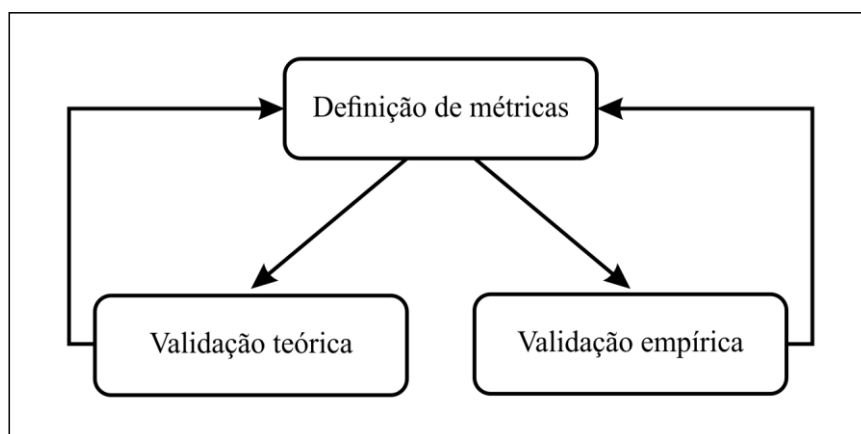
---

<sup>1</sup> Segundo Williams (1977), uma redução em um processo é viável quando um *loop* estruturado pode ser substituído por uma atividade com entradas e saídas. *Loops* não estruturados não podem formar atividades com entradas e saídas.

## 2.4. MÉTODOS DE VALIDAÇÃO PARA MÉTRICAS

Muketha (2010) afirma que são necessárias três fases para definir e validar métricas. São elas: definição de métrica; validação teórica; e, validação empírica. Em algumas definições de métricas, há ainda a necessidade de uma fase adicional para elaboração de ferramentas que automatizem o processo de captura e computação das métricas. As fases dos processos são mostradas na Figura 3.

Figura 3 - Definição de métricas e fases de validação.



Fonte: Elaboração própria com base em Muketha (2010, p. 1337)

Nos próximos tópicos serão abordadas, segundo a literatura, as fases de validação teórica e validação empírica aos quais as métricas devem ser submetidas.

### 2.4.1. Validação teórica

Na década de 1980 diversas métricas foram propostas para medir complexidade em softwares. A cientista Elaine J. Weyuker (1988) constatou que a falta de uma validação teórica robusta resultou na insegurança e, consequentemente, na rejeição da utilização dessas métricas por pesquisadores e desenvolvedores da área. Para superar a baixa aceitação de novas métricas pelos profissionais da engenharia de *software*, a autora propôs nove propriedades desejáveis nas medições de complexidade. Esta é uma abordagem amplamente conhecida por suas aplicações na engenharia de software e discussões na literatura.

As propriedades de Weyuker, apesar de inicialmente serem utilizadas apenas para softwares, são admissíveis para validar métricas de avaliação de processos de negócios, pois estas possuem



representação semelhante a programas processuais. (MUKETHA, GHANI, *et al.*, 2010). Elas são apresentadas na seção 3.3 deste estudo.

#### **2.4.2. Validação Empírica**

Zelkowitz e Wallace (1998) salientam a importância do uso de modelos experimentais para validar métricas. Os autores afirmam que a experimentação é uma parte crucial para a avaliação de novas métricas. O principal objetivo da validação empírica é estabelecer se a métrica realiza as medições propostas pelos autores e se está de acordo com a validação teórica (MUKETHA, GHANI, *et al.*, 2010).

Muketha *et al.* (2010) afirmam que os experimentos são sistemáticos, formais, rigorosos e repetitivos. Além disso, os experimentos possuem um maior controle sobre variáveis quando comparados com os estudos de caso. Zelkowitz e Wallace (1998) apresentam quatro abordagens para realizar uma validação com base na experiência dos usuários com as métricas desenvolvidas:

- Método científico: desenvolve-se uma teoria para explicar um fenômeno observado. Uma determinada hipótese é proposta e, em seguida, variações alternativas da hipótese são testadas e dados coletados para verificar ou refutar as alegações da hipótese.
- Método de engenharia: uma solução para uma hipótese é desenvolvida e testada. Com base nos resultados do teste, a solução é melhorada, até que não seja necessária qualquer melhoria adicional.
- Método empírico: Um método estatístico é proposto como meio de validar uma dada hipótese. Ao contrário do método científico, pode não haver um modelo formal ou teoria descrevendo a hipótese. Os dados são coletados para verificar a hipótese.
- Método analítico: Uma teoria formal é desenvolvida, e os resultados derivados dessa teoria podem ser comparados com observações empíricas.

### **2.5. RESUMO DAS MÉTRICAS DE COMPLEXIDADE EM PROCESSOS**

As métricas de complexidade em processos de negócio foram apresentadas na seção 2.3. O Quadro 4 apresenta sumariamente as 13 métricas encontradas na literatura, relacionadas com seus autores, título do trabalho e ano de publicação.

Quadro 4 - Lista de métricas de complexidade para processos de negócio

Métrica	Sigla	Autor(es)	Título do Trabalho	Ano de Publicação
Control-Flow Complexity	CFC	Jorge Cardoso	Business Process Control-Flow Complexity: Metric, Evaluation, and Validation	2008
Structuredness Metric	SM	Kristian B. Lassen; Wil M.P. van der Aalst.	Complexity Metrics for Workflow Nets	2009
Extended Cardoso Metric	ECaM			
Extended Cyclomatic Metric	ECyM			
Cross-Connectivity Metric	CC	Irene Vanderfeesten; Hajo A. Reijers; Jan Mendling; Wil M.P. van der Aalst; Jorge Cardoso.	On a Quest for Good Process Models: The Cross-Connectivity Metric	2008
Dufree Square Metric	DSM	Krzysztof Kluza; Grzegorz J. Nalepa	Proposal of Square Metrics for Measuring Business Process Model Complexity	2012
Perfect Square Metrics	PSM			
Size	$S_N$	Jan Mendling; Gustaf Neumann	Error Metrics for Business Process Models	2007
Separability	$\Pi$			
Sequentiality	$\Xi$			
Structuredness	$\Phi_N$			
Cyclicity	$CYC_N$			
Parallelism	T S			

Fonte: Elaboração do autor.

As diversas métricas elencadas no Quadro 4 possuem perspectivas distintas sobre como os elementos dos processos influenciam na dificuldade em entender e analisar os processos modelados, fatores que determinam sua complexidade.

A seguir, serão caracterizados os procedimentos metodológicos adotados nesta pesquisa definidos para avaliar, selecionar e analisar as métricas de complexidade em processos.

### 3 METODOLOGIA DA PESQUISA

*Para atingir os objetivos propostos neste trabalho, fez-se necessário seguir um conjunto de passos e adotar procedimentos metodológicos para que o trabalho conclua seus propósitos de maneira fidedigna. Este capítulo visa apresentar cada uma destas etapas.*

#### 3.1. VISÃO GERAL DA PESQUISA

De acordo com os objetivos definidos para esta pesquisa, que visa propor uma forma de avaliação de processos de negócio a partir da medição de sua complexidade, esta pesquisa possui natureza **aplicada**, visto que objetiva gerar conhecimentos para aplicação prática e dirigidos à solução de problemas específicos (SILVA e MENEZES, 2005).

Em relação a abordagem da pesquisa, Kauark, Manhães e Medeiros (2010) afirmam que a pesquisa pode ser qualitativa ou quantitativa. De acordo com os autores a pesquisa quantitativa considera que tudo pode ser quantificável. Nesta abordagem as opiniões e informações colhidas são transformadas em números e posteriormente classificadas e analisadas, com o uso de ferramentas estatísticas diversas. Já a abordagem qualitativa visa descrever e compreender os fenômenos na perspectiva dos envolvidos no caso, havendo forte interação com o objeto de estudo. O ambiente natural é a fonte direta para coleta de dados e os pesquisadores são instrumentos-chave, e tendem a analisar os dados indutivamente. Foi escolhida uma abordagem combinada para esta pesquisa, dado que possui características tanto **qualitativas** quanto **quantitativas**.

Do ponto de vista dos objetivos, esta é uma pesquisa de caráter **exploratório**, pois pretende proporcionar uma maior familiaridade com o problema com vistas a torná-lo explícito e construir hipóteses (GIL, 2002).

Esta pesquisa corrobora com a abordagem por processos definida por Miguel *et al.* (2012). A abordagem por processos corresponde a um método para a concepção e desenvolvimento de um *framework* conceitual, auxiliados por um conjunto de instrumentos e coordenados por procedimentos de gerenciamento (MIGUEL *et al.*, 2012). O *framework* é projetado, assim, para atender aos seguintes requisitos:

- Os procedimentos desenvolvidos necessitam de uma conexão com *frameworks* existentes;
- Há a necessidade de se fazer testes empíricos e verificação de qualquer processo proposto;

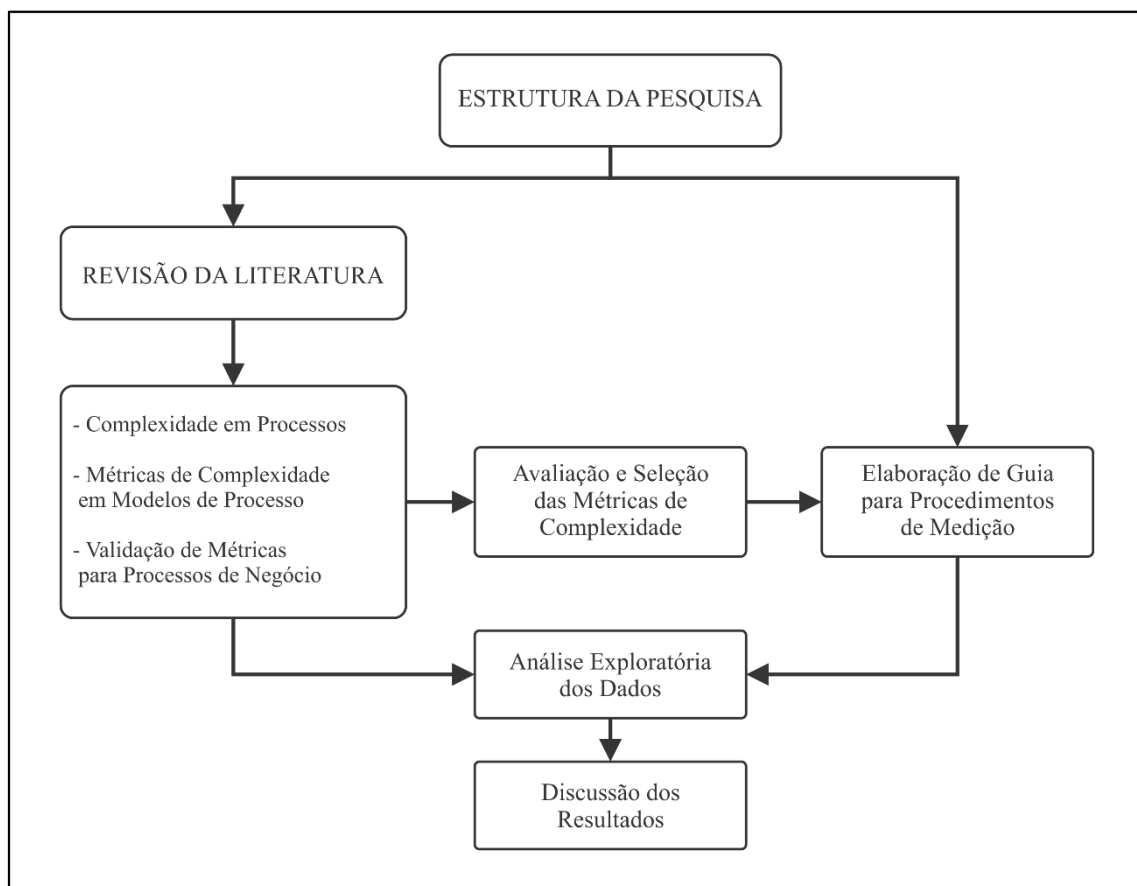
- Os resultados necessitam ser relevantes para o mundo prático dos engenheiros e gerentes de áreas afins.

Platts (1993) afirma que a abordagem por processos não objetiva o desenvolvimento de uma teoria descritiva, mas sim o desenvolvimento de procedimentos que irão operacionalizar o modo que as ações são realizadas hoje, com abordagens práticas para a melhoria de suas operações.

Portanto, a partir da abordagem por processos, a definição das métricas e análise das implicações foram desenvolvidos através da estratégia de **estudo de caso** (MIGUEL *et al.*, 2012).

Assim, utilizando as estratégias propostas pelos autores, definiu-se uma estrutura de pesquisa para que os objetivos propostos sejam atingidos. A estruturação do projeto é apresentada na Figura 4.

Figura 4 - Estruturação da pesquisa



Fonte: Elaboração do autor.

As etapas definidas na estrutura da pesquisa, apresentada na Figura 4, são abordadas nos tópicos a seguir.

## **3.2. ESTRUTURAÇÃO DA PESQUISA BIBLIOGRÁFICA**

Para um entendimento maior sobre o tema da pesquisa, inicialmente foi realizada uma revisão da literatura, como mostra a estrutura da pesquisa apresentada na Figura 4. Nesta etapa, buscou-se conhecer os principais conceitos sobre medição de complexidade em processos de negócio. Foram buscadas na literatura as métricas que realizam este tipo de medições em processos de negócio. A busca pelas métricas de complexidade foi realizada nas bases de dados da CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior), da BDTD (Biblioteca Digital de Teses e Dissertações do Instituto Brasileiro de Informação em Ciência e Tecnologia – IBICT) e da SciELO (*Scientific Electronic Library Online*), além do uso da ferramenta de busca Google Acadêmico. Os termos pesquisados foram: *Complexity*; *Business*; *Process Models*; *Metrics*; *Measure*.

## **3.3. AVALIAÇÃO E SELEÇÃO DAS MÉTRICAS DE COMPLEXIDADE**

A fim de submeter as métricas de complexidade a uma rigorosa avaliação, partindo do entendimento adquirido na revisão da literatura, foram realizadas as seguintes etapas: 1) definir fatores para avaliar as métricas encontradas na literatura, apresentadas no Quadro 4; 2) avaliar o desempenho das métricas sob a ótica dos fatores definidos e a partir das particularidades observadas em medições de complexidade; e, 3) selecionar as métricas que melhor se adequam para medir complexidade de processos em projetos de mapeamento. Os métodos utilizados para execução das etapas são abordados a seguir.

### **3.3.1. Definição dos fatores de avaliação das métricas**

Como resultado da revisão da literatura, foram encontradas diretrizes que são comumente utilizadas pelos autores para avaliar e validar as métricas propostas. Dentre estas diretrizes, as mais utilizadas são as Propriedades de Weyuker, motivo pela qual também foi aplicada nesta etapa da pesquisa. Além disso, demais critérios foram eleitos para compor os fatores avaliados na aplicação das métricas de complexidade. As propriedades de Weyuker e os critérios definidos são apresentados nos tópicos a seguir.

#### **3.3.1.1. Propriedades de Weyuker (1998)**

As propriedades de Weyuker (1988) nos permitem fazer uma análise para validar teoricamente as métricas de complexidade, a fim de identificar inconsistências que possam gerar

uma medição indesejada. Muketha (2010) afirma que objetivo da validação teórica é estabelecer se a métrica proposta pelo autor está estruturalmente sólida e se a teoria de medição não foi violada. O Quadro 5 apresenta um resumo das nove propriedades de Weyuker.

Quadro 5 - Propriedades de Weyuker

<b>Propriedades</b>	<b>Descrição</b>
Propriedade 1	Uma boa métrica deve apresentar complexidade diferente para processos distintos.
Propriedade 2	Uma boa métrica deve medir a mesma complexidade para um número finito de processos.
Propriedade 3	Uma boa métrica não deve resultar em um valor de complexidade único para todos os modelos de processo analisados.
Propriedade 4	Uma boa métrica deve ser capaz de examinar além dos aspectos externos do processo e distinguir dois modelos baseando-se em sua estrutura interna.
Propriedade 5	Uma boa métrica deve identificar que a complexidade da interação resultante entre dois processos é maior do que a complexidade de qualquer um dos modelos considerados separadamente.
Propriedade 6	Quando um processo, com uma dada complexidade, interage com outros dois processos não significa necessariamente que o processo resultante nos dois casos será de igual complexidade, mesmo que os dois processos adicionais possuam a mesma complexidade.
Propriedade 7	Dois processos idênticos podem ter complexidades diferentes, caso a ordem de declaração seja alterada. Uma boa métrica deve detectar esta diferença.
Propriedade 8	Uma boa métrica deve medir a mesma complexidade caso dois processos se diferenciem apenas pela escolha dos nomes dos elementos.
Propriedade 9	Uma interação entre partes de um processo causa aumento de sua complexidade. Uma boa métrica deve ser capaz de detectar essa mudança de comportamento.

Fonte: Weyuker (1988), Cardoso (2008) e Muketha (2010), adaptado pelo autor.

A utilização das propriedades como critérios de seleção contribui para que as métricas de complexidade escolhidas sejam suficientemente consistentes, permitindo que as análises subsequentes não estejam sujeitas às fragilidades relacionadas a medição apresentadas pelas métricas (WEYUKER, 1988).

### 3.3.1.2. Critérios basilares da pesquisa

Além das propriedades de Weyuker, as métricas também foram avaliadas segundo quatro critérios basilares definidos para esta pesquisa, a saber:

- a) Validação empírica: analisar se a métrica possui estudos de validações empíricas na literatura. A validação empírica qualifica se a métrica realiza as medições propostas pelos autores e se está de acordo com a validação teórica (MUKETHA, GHANI, *et al.*, 2010);
- b) Automação da medição: analisar se a métrica possui ferramentas que auxiliam os analistas de processos no esforço de medir a complexidade dos processos modelados (CARDOSO, 2008);
- c) Adequação ao BPMN: avaliar se a métrica possui aplicabilidade em modelos de processos implementados na linguagem BPMN, que é a mais utilizada nos dias de hoje. (KLUZA e NALEPA, 2012). Além disso os processos analisados nesta pesquisa possuem implementação de fluxograma que utilizam esta notação de modelagem, tornando este um critério muito importante para a pesquisa;
- d) Simplicidade: a métrica deve ser de fácil entendimento e aplicação por seus usuários finais (analistas de processos) (CARDOSO, 2008).

### 3.3.2. Estruturação da avaliação das métricas de complexidade

Para que se faça a seleção das métricas de complexidade torna-se necessário articular os conceitos pertinentes de modo que possam fazer sentido para o objetivo da pesquisa, pois assim, o pesquisador lança mão da imaginação e utiliza o embasamento científico para definir as métricas a serem utilizadas (MIGUEL *et al.*, 2012).

Com o intuito de evidenciar os atributos positivos e negativos de cada métrica, foi conduzida uma investigação sobre as características apresentadas pelas opções, sempre se fundamentando no conteúdo reunido na fase de revisão de literatura, acerca dos fatores de avaliação definidos no item 3.3.1 deste capítulo.

Miguel *et al.* (2012) mencionam que não basta ter contato apenas com o conhecimento existente sobre os objetos de estudo, lendo inúmeras referências sobre o assunto. Isto é necessário, mas não suficiente. Portanto, é preciso ultrapassar muitas vezes a barreira da teoria para compreender as particularidades dos modelos apresentados.

Com as métricas de complexidade elencadas e os fatores de avaliação definidos, fez-se necessário medir a complexidade de três processos modelados na linguagem BPMN, utilizando

para isto modelos de processos reais de um projeto de mapeamento de processos empreendido por professores e alunos do curso de Engenharia de Produção da Universidade de Brasília (UnB). O resultado da aplicação das métricas de complexidade gerou dados quantitativos relacionados a complexidade de cada processo de negócio, entretanto não foram analisados estatisticamente, visto que o objetivo desta etapa consiste em interpretá-los de acordo com a literatura encontrada para cada métrica.

### **3.3.3. Seleção das métricas**

Após avaliar as métricas, foi construído um quadro a fim de comparar o desempenho das diferentes métricas de complexidade frente aos fatores pré-estabelecidos, levando em consideração os resultados da avaliação realizada. Assim, foi possível visualizar quais critérios são atendidos pelas métricas e definir qual opção mais adequada para medir complexidade de processos em projetos de mapeamento.

Desta forma, garante-se que os procedimentos de medição de complexidade desenvolvidos pela pesquisa possuam solidez e sejam bem aceitos por seus usuários após a implementação. (WEYUKER, 1988)

## **3.4. ESTRUTURAÇÃO DA ANÁLISE EXPLORATÓRIA**

Esta etapa da pesquisa tem como objetivo a obtenção de parâmetros para avaliação dos resultados gerados pela aplicação das métricas de complexidade nos processos mapeados pelo referido projeto.

Para isso, os dados obtidos para a análise configuram uma amostra **não-probabilística intencional**, visto que a pesquisa foi realizada em atenção à demanda de um projeto de mapeamento de processos de uma organização pública de grande porte. Os tópicos a seguir descrevem as etapas para coleta e análise dos dados e resultados.

### **3.4.1. Caracterização dos Instrumentos de coleta de dados.**

O principal método para coleta de dados foi a aplicação das métricas selecionadas nos modelos de processos de negócio do projeto de mapeamento, à medida que eram validados pelos clientes (última fase do procedimento adotado pelo projeto). A aplicação dos procedimentos de medição de complexidade desenvolvidos pela pesquisa resultou em um dado quantitativo relacionado à complexidade dos processos de negócio.



Para a aplicação dos procedimentos de medição da complexidade foram desenvolvidos: um guia contendo as instruções a serem seguidas para coleta de dados dos modelos (Apêndice A); e, uma planilha para preenchimento das informações obtidas dos processos mapeados e cálculo do indicador de complexidade. Com esta sistemática foram obtidas a complexidade de 40 modelos de processos para as duas métricas selecionadas.

### **3.4.2. Procedimento de Análise de Dados**

De acordo com Yin (2001), a análise de dados consiste em examinar, categorizar, classificar em tabelas ou, do contrário, recombinar as evidências tendo em vista proposições iniciais de um estudo. Com esta abordagem, fez-se uma análise exploratória dos dados a fim de caracterizar a amostra de dados de complexidade obtida.

Inicialmente, calculou-se as medidas de tendência central (média e mediana) e de variabilidade (desvio padrão, coeficiente de variação, mínimo e máximo) do conjunto de dados de complexidade dos processos, a fim de caracterizar a amostra do estudo.

Em seguida, para melhor visualizar a distribuição e a densidade de frequências do conjunto de dados de complexidade, obtidos com a aplicação das duas métricas selecionadas, foram construídos histogramas (MORETTIN e BUSSAB, 2010). Em complementação aos histogramas, e visando avaliar a distribuição empírica dos valores de complexidade dos processos, foram construídos gráficos do tipo *boxplot* para encontrar posição, dispersão, assimetria, caudas e dados discrepantes (*outliers*), que podem produzir uma maior variabilidade dos dados e maior dispersão dos mesmos em torno da média, prejudicando a normalidade.

E por fim, utilizou-se a noção de *quantis* para estabelecer os intervalos de complexidade das duas métricas, visto que estas são medidas de localização resistentes de uma distribuição (MORETTIN e BUSSAB, 2010). A partir desses intervalos, uma avaliação do resultado da medição de complexidade pôde ser realizada através de uma matriz de correlação.

O capítulo a seguir apresenta a avaliação e a argumentação que resultou na seleção das métricas que serão utilizadas para a obtenção dos dados da análise. Ao final, são apresentados os métodos para calcular a complexidade fazendo uso de cada métrica selecionada.

## 4 AVALIAÇÃO E SELEÇÃO DAS MÉTRICAS DE COMPLEXIDADE

*Este capítulo apresenta uma discussão para avaliar e selecionar as métricas de complexidade. Também são mostrados os procedimentos para medição da complexidade com as métricas selecionadas.*

As métricas de complexidade encontradas na literatura foram avaliadas sob a ótica das propriedades de Weyuker (apresentadas no Quadro 5) e dos critérios basilares definidos para a pesquisa, a partir das particularidades observadas na aplicação prática de cada medição realizada. Os próximos itens apresentam a argumentação considerada para realizar a avaliação das métricas, bem como a seleção das mais adequadas para avaliar a complexidade dos processos em projetos de mapeamento.

### 4.1. PERSPECTIVA DE WEYUKER

A primeira propriedade de Weyuker (1988) contempla a ideia de que uma medição de complexidade que avalia todos os processos com o mesmo resultado não é realmente uma medida, o que torna este critério um requisito essencial para qualquer forma de medição em processos. Desta forma, todas as métricas analisadas satisfazem essa propriedade, visto que todas conseguem distinguir a complexidade de pelo menos dois processos

A segunda propriedade pode ser entendida como um reforço da propriedade anterior. Ao passo que não se deve obter a mesma medida de complexidade de todos os processos (propriedade 1), a métrica não é sensível o suficiente se classifica todos os processos analisados em apenas algumas classes de complexidade. A métrica CFC não atende ao critério descrito por esta propriedade, dado que se um processo “P” possui um pequeno número de atividades, um processo “Q”, por outro lado, possui um grande número de atividades e ambos possuem a mesma estrutura de divisor de fluxo, a medição do CFC para os processos “P” e “Q” apresentarão o mesmo valor de complexidade, característica que também é observada na métrica e Grau de Paralelismo (TS), proposta por Mendling e Neumann (2007). A métrica TS determina a complexidade de um fluxograma a partir da contagem de divisores de fluxo AND, não importando outros elementos da estrutura do processo, assim como a métrica CFC. Diversos autores (GRUHN e LAUE, 2006; MENDLING e NEUMANN, 2007; VANDERFEESTEN *et al.*, 2008 e; KLUZA e NALEPA, 2012) constatarem em seus trabalhos que o aumento do número de atividades em um processo

modelado o tornam mais difícil de analisar, entender ou explicar, isto é, aumentam sua complexidade. Logo a métrica CFC e TS não atendem a segunda propriedade de Weyuker.

Outra métrica proposta por Mendling e Neumann (2007) também não satisfaz a segunda propriedade de Weyuker. Em uma perspectiva oposta a métrica CFC, a métrica Tamanho ( $S_N$ ) que determina a complexidade de um processo pelo número de nós (atividades, controladores de fluxo e conectores) presentes no modelo, desconsidera o princípio de que o tipo de controlador de fluxo e a forma com que a estrutura do modelo de processo está disposta interfere em sua complexidade. Logo a métrica  $S_N$ , assim como a CFC também não satisfaz a segunda propriedade de Weyuker. As métricas DSM e PSM, propostas por Kluza e Nalepa (2012), também não atendem a segunda propriedade por este mesmo motivo. Cardoso (2008) acredita que não satisfazer a segunda propriedade não implica, necessariamente, em uma desvantagem, visto que o resultado de uma medição deve ser interpretado sob o ponto de vista do analista do processo.

A terceira propriedade de Weyuker complementa a segunda. Uma métrica deve ser sensível o suficiente para classificar os processos analisados em diferentes classes de complexidade (propriedade 2), entretanto, uma métrica não deve resultar em um valor de complexidade único para cada modelo de processo analisado (propriedade 3). Esta é uma tendência apresentada pela métrica CC, proposta por Vanderfeesten (2008). Apesar de considerar individualmente todos as conexões entre os elementos da estrutura de um modelo de processo – o que à primeira vista implica um fator positivo – o cálculo da complexidade realizado pela métrica CC resulta, majoritariamente, em um número irracional. Isto torna muito difícil a tarefa de encontrar dois ou mais modelos de processo que apresentem a mesma complexidade calculada por esta métrica. Logo, a métrica CC não atende a terceira propriedade de Weyuker. As métricas baseadas em proporções de medidas, propostas por Mendling e Neumann (2007), também resultaram em medições representadas por números contendo muitas casas decimais, que torna improvável encontrar dois modelos de processo com a mesma complexidade.

A quarta propriedade de Weyuker é fundamentada pela ideia de que, mesmo que dois processos tenham a mesma funcionalidade, serão os detalhes da implementação de cada modelo que devem determinar a complexidade dos processos. Todas as métricas avaliadas apresentam esta característica, pois se baseiam na estrutura interna do modelo e na forma que ele foi desenhado para determinar sua complexidade, e não dos resultados apresentados pelo processo modelado.

A quinta propriedade afirma que o valor da complexidade resultante da interação entre dois processos deve ser maior ou igual a medição individual de cada processo e nunca menor. Este critério não se verifica nas métricas Grau de Separação ( $II$ ) e Grau de Ciclicidade ( $CYC_N$ ) propostas por Mendling e Neumann (2007), pois a adição de um processo com estrutura

sequencial pode gerar uma redução na medição do modelo de processo resultante. Já a métrica  $\Xi$  (grau de sequenciamento) pode ter seu resultado reduzido caso seja adicionada uma estrutura não sequencial ao modelo de processo original. Logo as métricas  $H$ ,  $CYC_N$  e  $\Xi$  não satisfazem a quinta propriedade de Weyuker.

A sexta propriedade afirma que a forma com que um processo "P" interage com outros dois processos "Q" ou "R" (de modo assíncrono) não significa necessariamente que o processo resultante ("P-Q" ou "P-R") será de igual complexidade, mesmo que os dois processos adicionais tenham valores de complexidade iguais. Esta propriedade apenas se verifica na métrica Cross-Connectivity (CC), proposta por Vanderfeesten *et al.* (2008), e Grau de Sequenciamento ( $\Xi$ ), de Mendling e Neumann (2007). A métrica CC analisa detalhadamente a estrutura interna apresentada pelos modelos de processos e, conseqüentemente, sua medição de complexidade poderá apresentar um valor para cada conexão entre dois processos, mesmo se os vários processos adicionais tiverem a mesma complexidade. Já o Grau de Sequenciamento possui resultado de natureza percentual, portanto, caso dois processos "Q" e "R" possuam  $\Xi_{q,r} = X\%$ , a adição deste resultado ao  $\Xi_p = Y\%$  de "P" dependerá dos elementos da razão calculada pela métrica (numerador e denominador), determinados pelas características de cada modelo de processo. As demais métricas não diferenciam o valor das complexidades do processo resultante "P-Q" e "P-R", quando Q e R têm a mesma complexidade.

A sétima propriedade indica que a permutação de elementos dentro da estrutura de um processo gere uma mudança no resultado da medição e complexidade. As métricas DSM e PSM, propostas por Kluza e Nalepa (2012), e as métricas  $S_N$ ,  $H$ ,  $CYC_N$  e TS propostas por Mendling e Neumann (2007), não satisfazem esta propriedade. Estas métricas são calculadas considerando apenas o número de determinados tipos de elementos da estrutura dos processos, ao passo que, realizar apenas a permutação entre estes elementos não alterará o resultado obtido através dessas medições de complexidade, tornando-as insensíveis a este tipo de alteração no modelo de processo. As demais métricas analisadas satisfazem este princípio.

A propriedade oito requer que a medição de complexidade realizada pela métrica permaneça inalterada quando existe alguma alteração do nome de seus elementos internos ou do modelo de processo como um todo. Como nenhuma das métricas encontradas na literatura dependem da tipificação da nomenclatura do modelo de processo e seus elementos, todas as métricas satisfazem essa propriedade.

E finalmente, a nona propriedade indica que a medição de complexidade do todo tem de ser pelo menos tão grande quanto a soma das complexidades das partes. A ideia por trás desse critério é que o todo é mais complexo do que a soma de suas partes. Todas as métricas encontradas na literatura satisfazem essa propriedade.

## 4.2. PERSPECTIVA DOS CRITÉRIOS BASILARES DA PESQUISA

A presença de uma validação empírica é de extrema importância para uma utilização com menos erros da métrica. De acordo Zelkowitz e Wallace (1998), a experimentação e a coleta de dados são necessárias para avaliar práticas de medição em processos, pois conferem um entendimento aprofundado tanto dos modelos de processo quanto das métricas utilizadas. Todas as métricas analisadas possuem verificação experimental quanto à sua vocação para predição de erros (MENDLING e NEUMANN, 2007; VANDERFEESTEN, REIJERS, *et al.*, 2008; KLUZA, NALEPA e LISIECKI, 2014), aplicabilidade por grupos de analistas (CARDOSO, 2008) ou estudo de caso (LASSEN e VAN DER AALST, 2009).

Com relação a automação da medição, apenas as métricas CFC, proposta por Cardoso (2008), e SM, proposta por Lassen e Van Der Aalst (2009), possuem trabalhos na literatura com implementação de ferramentas para mensurar a complexidade dos processos. Entretanto, as métricas propostas por Mendling e Neumann (2007) possuem grande vocação para automação, por sua simplicidade.

A adaptabilidade da utilização da métrica ao BPMN é de suma importância para este trabalho, visto que esta é a linguagem de modelagem de processos mais utilizada atualmente (KLUZA e NALEPA, 2012). Das métricas estudadas, apenas a SM, proposta Lassen e Van Der Aalst (2009), não se mostra aplicável ao BPMN, visto que sua formulação é inteiramente baseada nos elementos de estrutura das redes de Petri.

O último critério basilar para aplicação das métricas em projeto de mapeamento é a Simplicidade, que determinará a aceitação das métricas pelos seus usuários. A partir da experiência percebida pela aplicação das métricas para medir processos de exemplo, determinou-se que as métricas DSM e PSM, de Kliza e Nalepa (2012), Grau de Estruturação e Ciclicidade, de Mendling e Neumann (2007), e a métrica *Cross-Connectivity* (CC), de Vanderfeesten *et al.* (2008) não satisfazem este critério. A opção que apresentou maior dificuldade para ser calculada foi a métrica CC, que é caracterizada por relacionar todos os elementos e conexões de um modelo de processo para calcular sua complexidade. Por exemplo, em um modelo com 100 elementos (desvios e atividades) é necessário analisar 4950 iterações para obter o seja obtido seu valor de complexidade.

## 4.3. SELEÇÃO DAS MÉTRICAS

Para melhor visualizar a análise apresentada nas seções anteriores, o Quadro 6 mostra um resumo do desempenho de cada métrica frente aos fatores pré-estabelecidos.

Quadro 6 - Avaliação das métricas sob a ótica das propriedades de Weyuker e critérios da pesquisa

Cardoso (2008)	Lassen e Van Der Aalst (2009)	Vanderfeesten <i>et al.</i> (2008)	Kluza e Nalepa (2012)		Mendling e Neumann (2007)					
CFC	SM	CC	DSM	PSM	S <sub>N</sub>	II	Ξ	Φ <sub>N</sub>	CYC <sub>N</sub>	TS
<b>Propriedades de Weyuker (1988)</b>										
Propriedade 1	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Propriedade 2		✓	✓			✓	✓	✓	✓	
Propriedade 3	✓	✓		✓	✓					✓
Propriedade 4	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Propriedade 5	✓	✓	✓	✓	✓			✓		✓
Propriedade 6		✓					✓			
Propriedade 7	✓	✓	✓				✓	✓		
Propriedade 8	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Propriedade 9	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
<b>CrITÉrios de Aplicabilidade das Métricas</b>										
Validação Empírica	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Automação da Medição	✓	✓								
Adequação ao BPMN	✓		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Simplicidade	✓	✓			✓	✓	✓			✓

Fonte: Elaboração do autor.

Ao observar o Quadro 6 pode-se visualizar que as métricas *Control-Flow Complexity* (CFC) e a *Structuredness Metric* (SM) atendem o maior número de fatores estabelecidos como critérios de seleção das métricas. Entretanto, nota-se que a métrica SM não está adequada aos elementos encontrados na notação de modelagem de processos BPMN. Isto implica que seu uso em projetos de mapeamento de processos demandaria um grande esforço para que se traduzissem os fluxogramas ou a própria métrica, visto que os processos analisados usualmente utilizam esta notação de modelagem para implementação de seus fluxogramas.

Baseando-se na análise conduzida, a métrica CFC foi eleita para realizar as medições de complexidade de processos em projetos de mapeamento. Contudo, no trabalho em que propõe, valida e discute tal métrica, Cardoso (2008) afirma que para analisar corretamente a complexidade de um processo a métrica CFC não deve ser utilizada isoladamente. Segundo o autor, a medição do CFC examina o processo apenas a partir do ponto de vista dos controladores de fluxo (*gateways*). Isso permite que dois processos com fluxogramas distintos (seja pelo tamanho, número de eventos fim, número de artefatos, etc.) apresentem a mesma complexidade CFC, caso possuam as mesmas estruturas de controladores de fluxo. Gonzáles *et al.* (2011) corroboram com esta afirmativa ao mencionar que a definição da complexidade de um processo deve considerar muitos aspectos que não são inteiramente avaliados com uma única medida. Portanto, a complexidade de um processo deve ser determinada com base em informações sobre a estrutura interna do processo adicionais ao CFC, como, por exemplo, o número de atividades presentes no modelo (CARDOSO, 2008).

Mendling e Neumann (2007) afirmam que as métricas propostas em seu trabalho – Tamanho do Processo ( $S_N$ ), Grau de separação ( $II$ ), Grau de Sequenciamento ( $\Xi$ ), Grau de estruturação ( $\Phi_N$ ), Grau de Ciclicidade ( $CYC_N$ ) e Grau de paralelismo (TS) – buscam encontrar, investigando a estrutura interna do processo, o quão difícil será analisar, compreender ou explicar o fluxograma de um processo.

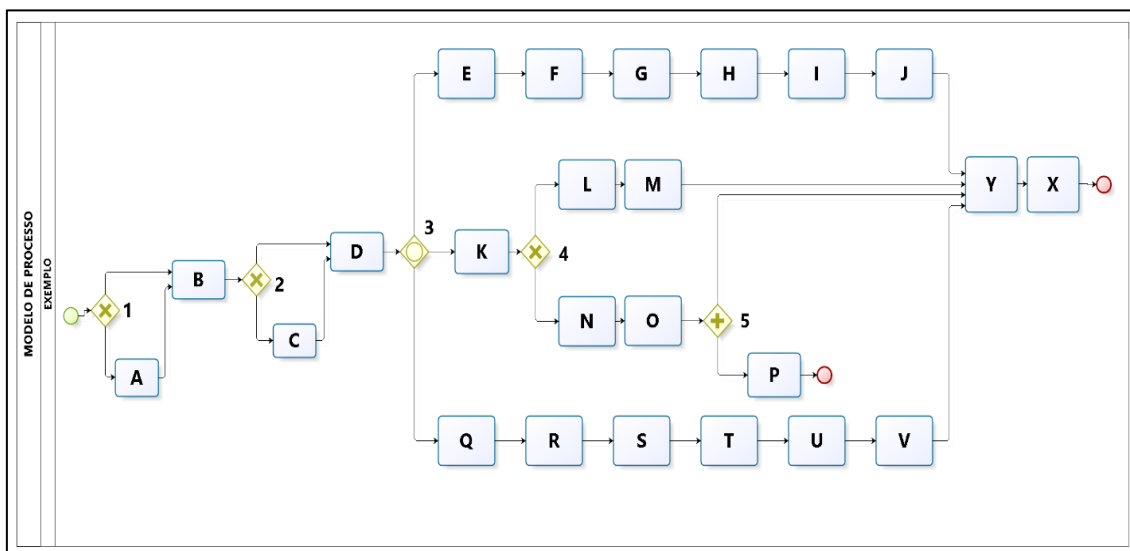
Apesar de não apresentar automação da medição na literatura, a métrica Grau de Sequenciamento mostrou-se, durante as medições realizadas nesta pesquisa, a mais simples de ser calculada, pois os parâmetros de entrada podem ser facilmente extraídos de um modelo de processo. Além disso, a métrica Grau de Sequenciamento é a que atende ao maior número de fatores considerados como critérios de seleção.

Portanto se decidiu, com todo subsídio teórico edificado pela discussão deste capítulo, empregar duas métricas para avaliar a complexidade em processos de negócio de projetos de mapeamento: *Control-Flow Complexity* (CFC) e Grau de Sequenciamento ( $\Xi$ ).

#### 4.4. PROCEDIMENTO DE MEDIÇÃO DA COMPLEXIDADE UTILIZANDO CFC E GRAU DE SEQUENCIAMENTO

A fim de exemplificar a utilização das métricas seleccionadas neste capítulo, realizou-se a medição da complexidade do modelo de processo apresentado na Figura 5.

Figura 5 - Modelo de processo exemplo



Fonte: Elaboração do autor

O processo foi modelado utilizando a notação BPMN e com o auxílio da ferramenta *Bizagi BPMN Modeler*. O modelo é composto por 24 atividades (representadas por letras de “A” a “X”) e cinco *gateways* (enumerados de 1 a 5).

O cálculo do CFC é realizado para cada *gateway* do modelo, respeitando as diretrizes estabelecidas no item 2.3.1.2 no qual se diferencia os tipos de desvios em exclusivos (*XOR*), inclusivos (*OR*) ou paralelos (*AND*). As equações são mostradas a seguir:

$$CFC_{XOR}(a) = n^{\circ} \text{ de saídas} \quad (2)$$

$$CFC_{OR}(a) = 2^{n^{\circ} \text{ de saídas}} - 1 \quad (3)$$

$$CFC_{AND}(a) = 1 \quad (4)$$



O CFC total do modelo (CFCabs) corresponde ao somatório da medição obtida em cada *gateway*. A Tabela 1 relaciona os cinco gateways do modelo apresentando o cálculo de seu CFC e seu resultado.

Tabela 1 - Cálculo do CFC do modelo de processo exemplo

Divisor	Tipo (XOR, OR ou AND)	Nº de Saídas	CFC	CFC
1	XOR	2	$CFC_{XOR}(1) = 2$	2
2	XOR	2	$CFC_{XOR}(2) = 2$	2
3	OR	3	$CFC_{OR}(3) = 2^3 - 1 = 7$	7
4	XOR	2	$CFC_{XOR}(4) = 2$	2
5	AND	2	$CFC_{AND}(5) = 1$	1
<b>CFCabs</b>			<b>14</b>	<b>14</b>

Fonte: Elaboração do autor

O valor de CFC para o modelo de processo exemplo corresponde a 14. Este valor, de acordo com Cardoso (2008), pode ser considerado como de baixa complexidade. Entretanto o autor não especifica intervalos de valores com a finalidade de determinar se o modelo possui alta ou baixa complexidade. Além disso, Cardoso (2008, p.61) afirma que “a métrica CFC apenas analisa o processo do ponto de vista do controle de fluxo”. Por isso a importância de complementar esta análise com uma medida que analise outros fatores estruturais do modelo, como o Grau de Sequenciamento.

Para realizar a medição do grau de sequenciamento foi necessário adaptar a métrica proposta a fim de condizer com o requisito de agilidade de obtenção de dados exigido em projetos de mapeamento de processos. Assim, o cálculo do grau de sequenciamento “ $\mathcal{E}$ ” será determinado pelo número de atividades “ $a$ ” sequenciais e o número total de atividades “ $A$ ” do modelo de processo. A medição é feita de acordo com a Equação 17:

$$\mathcal{E}(P) = \frac{a}{A} \quad (17)$$

A identificação desses elementos nos modelos é detalhadamente explanada no Guia para Preenchimento do Quadro de Complexidade, elaborado para a coleta de dados no projeto de mapeamento e apresentado no Apêndice A.

As atividades sequenciais identificadas são as representadas pelas letras A, C, E, F, G, H, I, J, K, L, M, N, O, P, W, R, S, T, U, V e X, totalizando 21 atividades sequenciais. Logo, o Grau de Sequenciamento do modelo de processo neste exemplo é calculado na Equação 18:

$$E(P) = \frac{21}{24} = \mathbf{0,875} \quad (18)$$

Assim o resultado de complexidade do modelo é obtido e pode ser analisado. Não foram encontrados, na literatura, níveis de complexidade para a métrica Grau de Sequenciamento.

O capítulo a seguir apresenta a análise dos dados obtidos pela aplicação das métricas selecionadas com os métodos aqui apresentados. As medidas de complexidade dos processos mapeados também são classificadas e avaliadas de acordo com os níveis de complexidade definidos no capítulo.

## 5 ANÁLISE DOS DADOS E RESULTADOS

*Neste capítulo são apresentados e estudados os dados obtidos utilizando os instrumentos definidos no Capítulo 3 deste trabalho. Também é mostrada uma análise que guiará o estudo para a obtenção dos níveis de complexidade para as métricas Control-Flow Complexity (CFC) e Grau de Sequenciamento ( $\Xi$ ).*

### 5.1. APRESENTAÇÃO DOS DADOS

Utilizando-se das técnicas para medição de complexidade exemplificadas na seção 4.4, que tem como base a fundamentação teórica dos estudos em que foram propostas as métricas CFC e Grau de Sequenciamento, foram coletados os indicadores de complexidade da amostra de 40 processos internos de uma organização pública de grande porte e armazenados na Tabela 2:

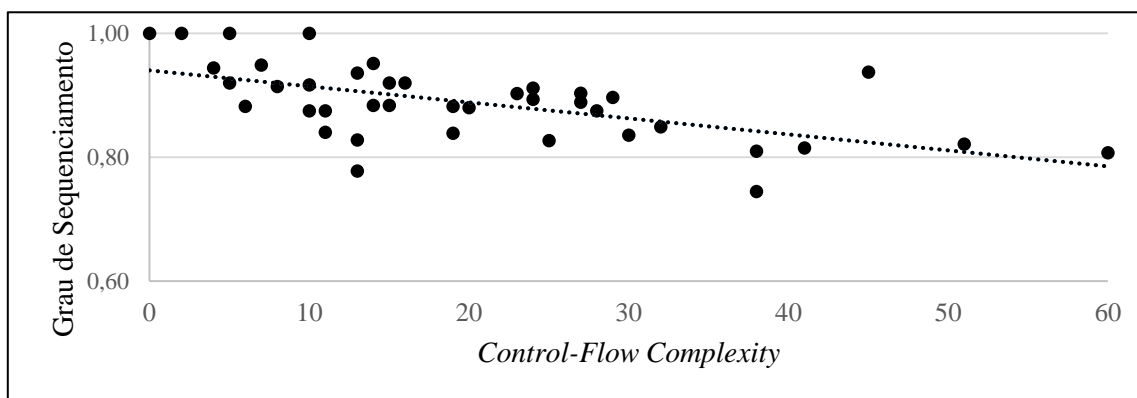
Tabela 2 - Medição de complexidade da amostra estudada.

Processos	Control-Flow Complexity	Grau de Sequenciamento	Processos	Control-Flow Complexity	Grau de Sequenciamento
P1	32	0,8491	P21	19	0,8387
P2	4	0,9444	P22	2	1,0000
P3	20	0,8800	P23	24	0,8936
P4	8	0,9143	P24	0	1,0000
P5	13	0,9362	P25	13	0,7778
P6	24	0,9118	P26	25	0,8269
P7	5	0,9200	P27	30	0,8358
P8	23	0,9028	P28	14	0,9512
P9	5	1,0000	P29	15	0,9200
P10	10	1,0000	P30	13	0,8276
P11	7	0,9487	P31	29	0,8966
P12	60	0,8072	P32	16	0,9200
P13	51	0,8209	P33	19	0,8824
P14	38	0,7447	P34	28	0,8750
P15	15	0,8837	P35	6	0,8824
P16	14	0,8837	P36	11	0,8750
P17	11	0,8400	P37	45	0,9375
P18	41	0,8148	P38	10	0,8750
P19	38	0,8095	P39	27	0,8889
P20	27	0,9032	P40	10	0,9167

Fonte: Elaboração do autor

O Gráfico 1 mostra as medições de complexidade CFC e Grau de Sequenciamento obtidas para cada processo relacionadas em um gráfico de dispersão.

Gráfico 1 – Grau de dispersão entre as variáveis CFC e Grau de Sequenciamento



Fonte: Elaboração do autor

Apesar de não ser recomendado relacionar diretamente os resultados das diferentes medições de complexidade (KLUZA, NALEPA e LISIECKI, 2014; LASSEN e VAN DER AALST, 2009), observa-se no Gráfico 1 que há uma relação inversa entre os valores obtidos para o CFC e o Grau de Sequenciamento em cada processo, isto significa que, à medida que os valores do CFC aumentam é observada uma variação negativa no respectivo grau de sequenciamento. Esta afirmação pode ser verificada pelo coeficiente de correlação<sup>2</sup> entre os conjuntos de dados de complexidade obtidos para o CFC e Grau de Sequenciamento. A Tabela 3 exibe a matriz de correlação obtida a partir dos dados de complexidade.

Tabela 3 - Matriz de correlação entre CFC e Grau de Sequenciamento

	<b>CFC</b>	<b><i>E</i></b>
<b>CFC</b>	1	
<b><i>E</i></b>	-0,59	1

Fonte: Elaboração do autor

O coeficiente de correlação encontrado foi de -0,59, indicando que existe uma correlação linear moderada entre a complexidade CFC e Grau de Sequenciamento (LAPPONI, 2005).

Vale destacar que Mendling *et al.* (2007) afirmam que quanto maior o Grau de Sequenciamento menor será a complexidade do processo, enquanto que Cardoso (2008) declara que quanto maior o valor obtido na medição do CFC, maior será a complexidade do processo.

<sup>2</sup> O Coeficiente de Correlação é uma medida do grau de associação linear entre duas variáveis. Pode ser obtido ao usar a função “CORREL(matriz1;matriz 2)” do Excel (LAPPONI, 2005)

A relação inversa constatada pelo gráfico é uma importante peculiaridade apresentada nesta análise pois cada métrica busca explicar o mesmo fluxograma de processo sob perspectivas diferentes e, mesmo assim, as medições realizadas “concordam” entre si ao atribuir um valor de complexidade aos processos da instituição. Este resultado sugere a vocação que estas medições possuem para compor uma metodologia que avalie a complexidade de processos de um modo mais completo, visto que os diagnósticos realizados por cada autor são distintos entre si.

## 5.2. ANÁLISE DESCRITIVA DOS DADOS

Inicialmente calculou-se as medidas de tendência central (média e mediana) e de variabilidade (desvio padrão, coeficiente de variação, mínimo e máximo) das variáveis CFC e Grau de Sequenciamento obtidas na coleta de dados. A Tabela 4 apresenta essas medidas estatísticas.

Tabela 4 - Medidas estatísticas das variáveis CFC e Grau de Sequenciamento.

Variável Amostra	Mínimo	Mediana	Máximo	Média	Desvio Padrão ( $\sigma$ )	Coeficiente de Variação
CFC 40	0,00	15,50	60,00	20,05	13,88	<b>69%</b>
Grau de Sequenciamento 40	0,745	0,886	1,000	0,888	0,061	<b>7%</b>

Fonte: Elaboração do autor

Observa-se na Tabela 4 que a variável CFC oscila entre 0 e 60, sendo a média obtida igual a 20,05 e mediana 15,5. Já o Grau de Sequenciamento assume valores entre 0,745 e 1,000 e tem média calculada igual a 0,888 e mediana 0,886.

Como as variáveis CFC e Grau de Sequenciamento apresentam dados com magnitudes distintas entre si, utilizou-se a medida de coeficiente de variação (CV) para comparar a variabilidade entre os conjuntos de dados, visto que o desvio padrão não é uma medida resistente<sup>3</sup> à esta diferença (MORETTIN e BUSSAB, 2010). O CV é um termo que exprime a variabilidade em relação à média. O CV possui a seguinte definição:

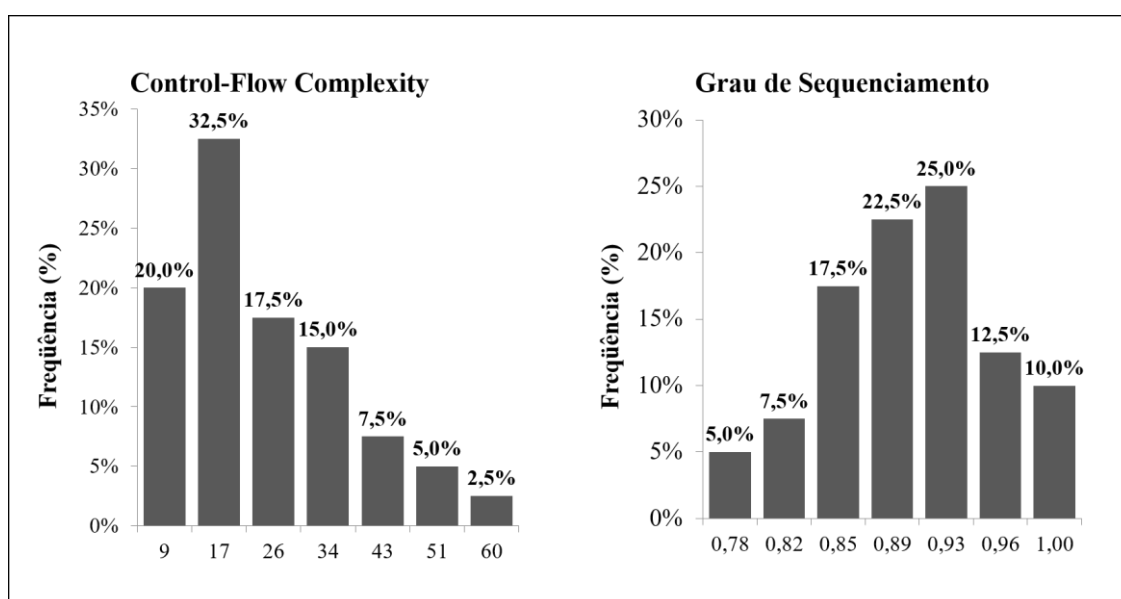
$$CV = \frac{\text{Desvio Padrão } (\sigma)}{\text{Média } (\bar{x})} \times 100\% \quad (19)$$

<sup>3</sup> Morretin e Bussab (2010) afirmam que uma medida é resistente quando for pouco afetada por mudanças de uma pequena porção de dados da população

Nota-se, como mostra a Tabela 4, que o CFC e o Grau de Sequenciamento possuem coeficiente de variação de 69% e 7%, respectivamente. Logo concluímos que a variabilidade do CFC é consideravelmente maior que o Grau de sequenciamento.

Morretin e Bussab (2010) citam que “o histograma dá uma ideia de como é a verdadeira densidade de frequências da população da qual os dados foram selecionados”. Para melhor visualizar a distribuição dos dados e a densidade de frequências, foram construídos histogramas para representação da amostra estudada.

Figura 6 - Histogramas dos conjuntos de dados das variáveis CFC e Grau de Sequenciamento.



Fonte: Elaboração do autor

Com base nos histogramas da Figura 6, percebe-se uma concentração das medições dos processos nas classes com valores que representam uma menor complexidade (MENDLING e NEUMANN, 2007; CARDOSO, 2008). Cerca de 71% dos processos tiveram suas medições CFC enquadradas nas três primeiras classes do histograma (variação entre 0 a 17). Já os valores obtidos para o Grau de Sequenciamento possuem uma curva um pouco mais equilibrada, porém com uma densidade propensa aos valores mais altos (para direita do gráfico) do intervalo total da amostra, que também sugerem uma menor complexidade. A compreensão dessas tendências é um importante insumo para definição dos intervalos de complexidade.

Em seguida, foram construídos gráficos do tipo *boxplot* para encontrar posição, dispersão, assimetria, caudas e dados discrepantes (*outliers*), que podem produzir uma maior variabilidade dos dados e maior dispersão dos mesmos em torno da média, prejudicando a normalidade.

### 5.2.1. Análise do *boxplot* para CFC

Para construir o gráfico *boxplot* inicialmente precisamos obter o primeiro e o terceiro *quartis* do conjunto de dados. Os *quartis* são *quantis* de ordem  $p$  indicados por  $q(p)$ , onde  $p$  é uma proporção qualquer entre zero e um, tal que 100  $p\%$  das observações sejam menores do que  $q(p)$  (MORETTIN e BUSSAB, 2010). O primeiro e o terceiro *quartis* são, portanto, os *quantis*  $q1(0,25)$  e  $q3(0,75)$  de um conjunto de dados. O primeiro e o terceiro *quartis* da amostra estudada são:

$$q_1(0,25) = 10,00 \quad (20)$$

$$q_3(0,75) = 27,25 \quad (21)$$

Em seguida calcula-se os limites inferior ( $Li$ ) e superior ( $Ls$ ) da variável CFC. Os limites  $Li$  e  $Ls$  para o CFC correspondem a:

$$Li = q_1 - 1,5 (q_3 - q_1) = -15,88 \quad (22)$$

$$Ls = q_3 + 1,5 (q_3 - q_1) = 53,13 \quad (23)$$

Recomenda-se utilizar os valores da amostra estudada para construir o *boxplot* (MORETTIN e BUSSAB, 2010), logo serão consideradas as medições imediatamente superior (no caso do  $Li = 0,00$ ) e imediatamente inferior (para o  $Ls = 51,00$ ) como limites do gráfico.

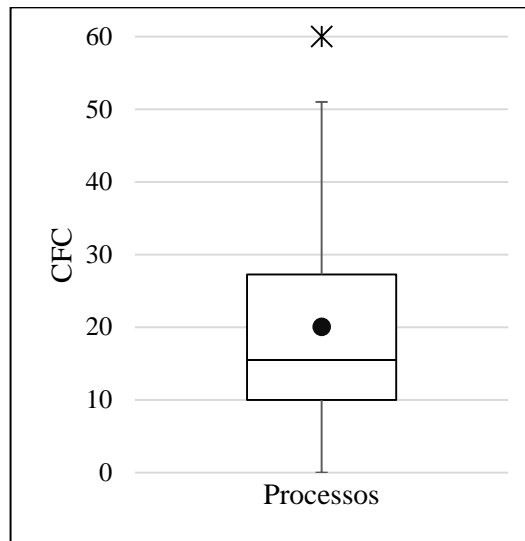
A Tabela 5 reúne estes e os demais dados utilizados para construir o *boxplot* para o CFC, apresentado em sequência (Gráfico 2).

Tabela 5 - Medidas estatísticas para construção do gráfico *boxplot* para o CFC

Média	Desvio Padrão ( $\sigma$ )	Limite Inferior	1º Quadrante	Mediana	3º Quadrante	Limite Superior
20,05	13,88	0,00	10,00	15,50	27,25	51,00

Fonte: Elaboração do autor

Gráfico 2 - *Boxplot* para conjunto de dados da variável CFC



Fonte: Elaboração do autor

O intervalo interquartil (delimitado pelas arestas superior e inferior do retângulo) representa a concentração de 50% medições CFC realizadas no conjunto de processos. O valor para o intervalo interquartil obtido é 17,25. O *boxplot* também evidencia a assimetria acentuada identificada anteriormente no histograma da Figura 6, em que a maior concentração de dados da amostra se situa entre o primeiro quartil e a mediana (10,00 e 15,50 respectivamente).

A construção do gráfico também revelou a existência de um único *outlier* presente no conjunto de medições CFC. Este *outlier* é o processo de referência P12. Os dados deste processo são apresentados na Tabela 6.

Tabela 6 - Elementos do modelo de processo P12

Processo	Nº Gateways			CFC XOR	CFC OR	CFC AND
	XOR	OR	AND			
<b>P12</b>	29	0	0	60	0	0

Fonte: Elaboração do autor

Este processo possui um total de 29 *gateways*, sendo todos do tipo XOR. Foi verificado que, da amostra de modelos de processos avaliadas neste estudo, o P12 é o que possui o maior número de estruturas de controle de fluxo. A presença desses elementos faz com que, de acordo com a perspectiva do autor da métrica, a complexidade do ponto de vista do controle de fluxo do processo seja muito alta, o que justifica este ponto discrepante dos dados (CARDOSO, 2008).



Entretanto verificou-se que apenas este ponto discrepante não interfere de modo abrupto a variabilidade da amostra. A Tabela 7 mostra as medidas de variabilidade apresentadas pela amostra original, e de um conjunto que desconsidera o *outlier* P12.

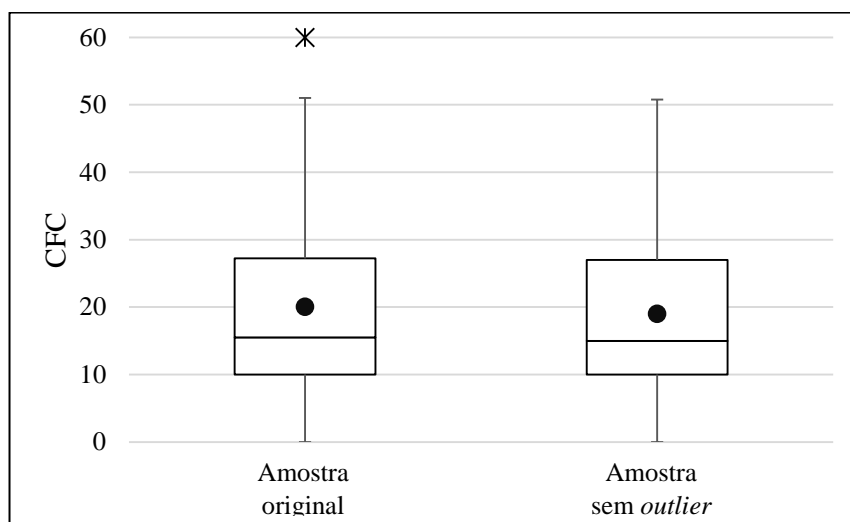
Tabela 7 - Medidas de variabilidade da amostra original e sem o *outlier*

Medidas	Amostra Original	Amostra sem Outlier
Desvio Padrão	13,88	12,44
Média	20,05	19,03
<b>Coeficiente de Variação</b>	<b>69%</b>	<b>65%</b>

Fonte: Elaboração do autor

Este resultado também pode ser observado na comparação entre os *boxplot* das amostras, apresentado no Gráfico 3.

Gráfico 3 - *Boxplot* da amostra original e com a retirada do *outlier* para o CFC



Fonte: Elaboração do autor

Observa-se pelo Gráfico 3 que os máximos e mínimos permaneceram iguais, entretanto a amostra sem o *outlier* apresentou intervalo interquartil equivalente a 17 (frente aos 17,25 apresentados pelo *boxplot* da amostra original do CFC). Com este resultado podemos confirmar

que as modificações trazidas pela retirada do *outlier* não alteram significativamente as características da amostra estudada para a complexidade CFC.

### 5.2.2. Análise do *boxplot* para Grau de Sequenciamento

Seguindo a mesma estrutura utilizada para construção do *boxplot* da métrica CFC, realizou-se os cálculos para obtenção das medidas estatísticas para os dados da variável Grau de sequenciamento, à saber: primeiro e terceiro quartis, limite inferior e superior.

$$q_1(0,25) = 0,840 \quad (24)$$

$$q_3(0,75) = 0,920 \quad (25)$$

$$Li = q_1 - 1,5 (q_3 - q_1) = 0,719 \quad (26)$$

$$Ls = q_2 - 1,5 (q_3 - q_1) = 1,040 \quad (27)$$

Os valores assumidos para limites inferior e superior – acolhendo a recomendação de Morettin e Bussab (2010), em que devem-se utilizar valores da amostra para representa-los – serão de  $Li = 0,745$  e  $Ls = 1,000$ .

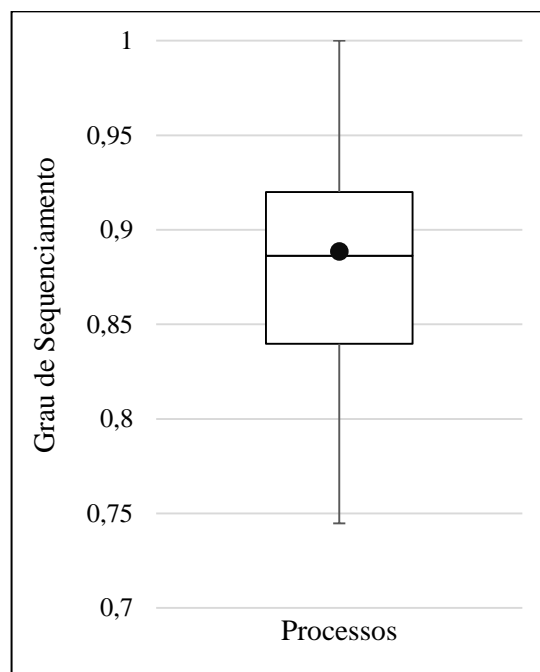
A Tabela 8 reúne estes e os demais dados utilizados para construir o *boxplot* para a métrica Grau de Sequenciamento, apresentado a seguir (Gráfico 4).

Tabela 8 - Medidas estatísticas para construção do gráfico *boxplot* para o Grau de Sequenciamento

Média	Desvio Padrão ( $\sigma$ )	Limite Inferior	1º Quadrante	Mediana	3º Quadrante	Limite Superior
0,888	0,061	0,745	0,840	0,886	0,920	1,000

Fonte: Elaboração do autor

Gráfico 4 - *Boxplot* para conjunto de dados da variável Grau de Sequenciamento



Fonte: Elaboração do autor

Diferentemente do *boxplot* apresentado para o conjunto de dados da métrica CFC (Gráfico 2), a medição Grau de sequenciamento da amostra estudada não apresentou nenhum *outlier*. Este resultado indica que nenhum dos dados sozinhos alteram significativamente as características estatísticas gerais do conjunto de dados. Também se observa no *boxplot* o equilíbrio verificado no histograma da Figura 6, onde a média (0,888) está muito próxima da mediana (0,886).

A maior concentração de dados amostra obtida para o grau de sequenciamento figurou entre a mediana e o terceiro quartil (0,886 e 0,920 respectivamente).

### 5.3. IDENTIFICAÇÃO DOS NÍVEIS DE COMPLEXIDADE

Gonzáles *et al.* (2011) afirma que existe uma carência de estudos com abordagem experimental para determinar limites de complexidade para medições em processos de negócio. Há uma necessidade de obtenção de limites para métricas a fim de que se possa prevenir modelos de processos pouco robustos, permitindo assim aos analistas avaliar os valores limite a fim de evitar a obtenção de estruturas inconsistentes (SHATNAWI, LI, *et al.*, 2010).

Como este estudo reuniu uma boa amostra de dados de complexidade de processos, buscou-se determinar, através de uma análise dos *quantis* da amostra e com base nas proporções

estabelecidas para cada nível de complexidade, a classificação de complexidade atribuída à medição de CFC e Grau de Sequenciamento de um processo de negócio.

Utilizou-se, então, a medição de *quantis* para estabelecer os limiares (valores de fronteira) de complexidade dos processos, visto que estas são medidas de localização resistentes de uma distribuição (MORETTIN e BUSSAB, 2010). Logo os limiares aqui definidos estarão subsidiados por todas as características observadas análise exploratória conduzida neste trabalho.

Foram definidos cinco níveis de complexidade para cada métrica, a fim de que se mantenham as características que tornam as métricas CFC e Grau de Sequenciamento as que mais satisfazem os fatores estabelecidos como critérios de seleção, resultado apresentado no Quadro 6 (seção 4.3). As proporções utilizadas para o cálculo dos *quantis* foram 20%, 40%, 60% e 80%.

A Figura 7 apresenta as proporções dos *quantis* utilizadas para definir os limiares entre os níveis de complexidade a partir dos valores de CFC e Grau de Sequenciamento obtidos para os 40 processos analisados neste trabalho, e os seus respectivos resultados.

Figura 7 – Resultado de limiares de complexidade para CFC e Grau de Sequenciamento.

Control-Flow Complexity				Grau de Sequenciamento			
		Limiares de Complexidade (CFC)				Limiares de Complexidade ( $\Xi$ )	
Complexidade ↓ — +	Muito Baixa	$q(0,2)$	9,6	Complexidade ↓ — +	Muito Baixa	$q(0,8)$	0,936
	Baixa	$q(0,4)$	13,6		Baixa	$q(0,6)$	0,903
	Moderada	$q(0,6)$	21,2		Moderada	$q(0,4)$	0,881
	Alta	$q(0,8)$	29,2		Alta	$q(0,2)$	0,834
	Muito Alta				Muito Alta		

Fonte: Elaboração do autor

Nota-se que as proporções aplicadas aos *quantis* para obtenção dos limiares de complexidade da métrica Grau de Sequenciamento são invertidas quando comparado com a aplicação realizada para o CFC. Isso se deve à relação inversa analisada anteriormente (item 5.1).

O Quadro 7 apresenta os níveis de complexidade obtidos, com a abordagem apresentada, para as métricas CFC e Grau de Sequenciamento.

Quadro 7 - Níveis de complexidade para as métricas CFC e Grau de Sequenciamento.

	<b>CFC</b>	<b><math>E</math></b>
<b>Muito Baixa</b>	até 9	acima de 0,936
<b>Baixa</b>	10 à 13	0,903 à 0,936
<b>Moderada</b>	14 à 21	0,881 à 0,903
<b>Alta</b>	22 à 29	0,834 à 0,881
<b>Muito Alta</b>	acima de 30	até 0,834

Fonte: Elaboração do autor

Os valores observados neste quadro para a métrica CFC foram arredondados, visto que as medições resultantes da utilização desta métrica são sempre números inteiros.

### 5.3.1. Níveis de complexidade para CFC

Em seu trabalho, Gonzáles *et al.* (2011) utilizam uma metodologia quantitativa baseada em curvas de regressão logística<sup>4</sup> a fim de, também, definir limiares de medição para a métrica CFC. Neste estudo, os autores realizam três experimentos com a intenção de avaliar quais fatores afetam o entendimento de 15 modelos de processos. Os experimentos foram conduzidos considerando a opinião pessoal de 71 indivíduos sobre grau de dificuldade de compreensão dos processos analisados.

A Figura 8 a seguir apresenta os 4 limiares CFC encontrados no estudo citado e os definidos neste trabalho, representados pelos intervalos de valores obtidos para o CFCabs nos modelos de processos.

---

<sup>4</sup> De acordo com Hosmer, Lemeshow e Sturdivant (2013), um modelo de regressão logística é utilizado para descrever a correlação entre uma variável de resposta binária e um fator de risco contínuo.

Figura 8 – Comparação entre resultados obtidos no estudo e definidos por Gonzáles *et al.* (2011)

		Limiares de Complexidade (CFC)	
		Análise	Gonzáles <i>et al.</i> (2011)
Complexidade ↓ — +	Muito Baixa	9,6	8,0
	Baixa	13,6	15,0
	Moderada	21,2	31,0
	Alta	29,2	44,0
	Muito Alta		

Fonte: Gonzáles *et al.* (2011), adaptado pelo autor.

Observa-se na Figura 8 que os limites encontrados pelo trabalho de Gonzáles *et al.* (2011) possuem valores mais distribuídos, quando comparados com os resultados logrados neste estudo. Este resultado possivelmente é obtido em decorrência da amostra inferior utilizada nos experimentos conduzidos pelos autores (15 modelos de processos frente aos 40 utilizados neste trabalho) o que implica que seus resultados poderão conter um viés de seleção (MORETTIN e BUSSAB, 2010). Além do número inferior de processos, a diferença entre o contexto em que as organizações consideradas em ambos os estudos estão inseridas também pôde ter contribuído para a diferença entre os níveis de complexidade identificados.

Apesar do pequeno número de processos, o estudo de Gonzáles *et al.* (2011) investiga a correlação entre as medições de CFC com a opinião de indivíduos sobre o nível de entendimento do processo. O uso da avaliação subjetiva de especialistas enriqueceu a constatação dos limiares proposta pelos autores, o que distingue este estudo das demais aplicações encontradas na literatura.

#### 5.4. CLASSIFICAÇÃO DE COMPLEXIDADE DA AMOSTRA ESTUDADA

A fim de caracterizar as relações entre as medições de complexidade CFC e Grau de Sequenciamento e suas implicações para os modelos de processos, classificou-se a complexidade dos processos da amostra estudada, de acordo com os resultados obtidos para os níveis de complexidade apresentados no Quadro 7. O Quadro 8 mostra o resultado desta classificação.

Quadro 8 - Classificação de complexidade dos modelos de processos

Processos	CFC	$\Xi$
P1	MA	A
P2	MB	MB
P3	M	A
P4	MB	B
P5	B	B
P6	A	B
P7	MB	B
P8	A	M
P9	MB	MB
P10	B	MB
P11	MB	MB
P12	MA	MA
P13	MA	MA
P14	MA	MA
P15	M	M
P16	M	M
P17	B	A
P18	MA	MA
P19	MA	MA
P20	A	B

Processos	CFC	$\Xi$
P21	M	A
P22	MB	MB
P23	A	M
P24	MB	MB
P25	M	MA
P26	A	MA
P27	MA	A
P28	M	MB
P29	M	B
P30	B	MA
P31	A	M
P32	M	B
P33	M	M
P34	A	A
P35	MB	M
P36	B	A
P37	A	MB
P38	B	A
P39	A	M
P40	B	B

Legenda:	
MA	Muito Alta
A	Alta
M	Moderada
B	Baixa
MB	Muito Baixa

Fonte: Elaboração do autor.

A partir do Quadro 8, foram observados que alguns processos obtiveram classificações de complexidades diferentes nas duas métricas utilizadas. O Quadro 9 apresenta uma matriz de classificação para um melhor entendimento das diferenças observadas.

Quadro 9 - Matriz de classificação dos processos analisados

		Grau de Sequenciamento				
		Muito Baixa	Baixa	Moderada	Alta	Muito Alta
CFC	Muito Baixa	5	2	1	0	0
	Baixa	1	2	0	3	2
	Moderada	1	2	3	2	0
	Alta	0	2	4	1	1
	Muito Alta	1	0	0	2	5

Fonte: Elaboração do autor.

Dos 40 modelos de processos de negócio analisados, 16 possuem a mesma classificação de complexidade para as duas métricas (40%), à saber: P2, P5, P9 P11, P12, P13, P14, P15, P16, P18, P19, P22, P24, P33, P34, P40. Estes processos estão contabilizados nos campos destacados da matriz de correlação do Quadro 9. Além disso outros 14 processos (35%) apresentaram classificação de complexidade similar nas duas avaliações, por exemplo, o processo P1 obteve uma alta complexidade para o Grau de Sequenciamento e muito alta complexidade para CFC. Este resultado comprova a concordância entre as medições na maior parte dos modelos, apesar dos diferentes fatores que influenciam o cálculo das métricas.

Três dos modelos de processos analisados chamaram atenção neste estudo, visto que tiveram suas classificações de complexidade muito distintas uma da outra. Os processos observados são P25, P30 e P37. Realizou-se então uma investigação a fim de encontrar fatores que expliquem este resultado. Os parâmetros de cálculo para os três processos são mostrados na Tabela 9.

Tabela 9 - Elementos dos modelos de processo de complexidades destoantes

Processo	Nº Gateways			CFC			CFC	Nº Atividades	Nº Atividades Sequenciais	$\Xi$
	XOR	OR	AND	XOR	OR	AND				
<b>P25</b>	3	1	0	6	7	0	<b>13</b>	18	14	<b>0,778</b>
<b>P30</b>	6	0	1	12	0	1	<b>13</b>	29	24	<b>0,828</b>
<b>P37</b>	11	3	2	26	17	2	<b>45</b>	48	45	<b>0,938</b>

Fonte: Elaboração do autor.

Além de apresentar uma complexidade CFC baixa (13), o processo P25 pode ser considerado pequeno, devido ao reduzido número de atividades presentes no modelo (apenas 18). Entretanto muitas das suas atividades (4) não apresentam características sequenciais, resultando em um valor de  $\Xi$  que indica uma complexidade muito alta (0,778). Acredita-se que este resultado tenha ocorrido devido ao estilo de modelagem adotado. Neste modelo, especificamente, identificou-se atividades genéricas que são repetidamente realizadas para que o processo cumpra seu propósito e entregue valor a seus clientes. Esta particularidade foi detectada de forma bem-sucedida pela métrica Grau de Sequenciamento, justificando seu resultado inusitado, à primeira vista. O processo P30 possui essas mesmas características, porém o número de atividades do seu modelo é superior ao P25, o que atenua seu valor  $\Xi$ . Entretanto a classificação de sua complexidade permanece no nível “muito alto”.

O processo de referência P37 apresentou complexidades CFC e  $\Xi$  muito alta e muito baixa, respectivamente. Foi verificado que sua complexidade CFC é bastante influenciada por três gateways inclusivos (OR) presentes no modelo do processo. Apenas estes elementos



incrementaram 17 pontos ao resultado apurado pela métrica. Outra especificidade deste processo é que, apesar de conter muitos *gateways*, sua estrutura é predominantemente sequencial. Esta característica foi capturada pela métrica Grau de Sequenciamento, que classificou sua complexidade como muito baixa.

Em todos os modelos de processos investigados nota-se uma relação de complementaridade entre as análises realizadas pelas métricas CFC e Grau de Sequenciamento, o que permite confirmar o resultado da avaliação teórica, apresentada no Capítulo 4, para seleção dessas métricas.

Foi constatado que a inclusão dos procedimentos de medição de complexidade nas atividades diárias dos analistas de processos, utilizando-se as métricas CFC e Grau de Sequenciamento, não se mostrou onerosa. Grande parte dos dados necessários para o cálculo da complexidade já são disponibilizados pelo *software Bizagi*, e esta é a ferramenta mais empregada para modelar os processos na maior parte dos projetos de mapeamento de processos. Além disso, a notação mais adotada nestes projetos, o *Business Process Model and Notation* (BPMN), facilita a identificação dos parâmetros que são contabilizados diretamente dos modelos.

A classificação da complexidade dos modelos analisados, de um modo geral, traz um entendimento maior sobre os fatores que determinam o quão difícil cada processo de negócio se mostrou para ser mapeado. As estruturas analisadas nos processos e suas inter-relações demandam maior ou menor esforço cognitivo dos analistas dependendo de como são dispostas no modelo. E isto impacta diretamente no tempo que este processo levou para ser entendido, mapeado, discutido e finalmente validado pelos seus *stakeholders*, possibilitando dimensionar os recursos utilizados para tal validação e estimar o esforço empreendido no mapeamento deste processo de negócio.

A seguir, serão expostas as considerações finais do estudo, concluindo se os resultados atingidos neste capítulo estão alinhados com os objetivos propostos neste trabalho.

## 6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

*Este último capítulo visa apresentar as considerações finais sobre o estudo empreendido, mostrando a relevância da pesquisa, a análise do cumprimento dos objetivos e sugestões de trabalhos futuros.*

A estimativa de recursos, principalmente custo e tempo, para a execução de projetos de mapeamento são os grandes motivadores deste estudo. Desse modo, este trabalho se propôs a estudar e avaliar as medições de complexidade em processos, disponíveis na literatura, visando selecionar as métricas que melhor se adequam para subsidiar a tomada de decisão no âmbito de projetos de mapeamento de processos. Para isso foram estruturados quatro objetivos específicos, a saber: a) realizar uma revisão da literatura sobre medição de complexidade em processos de negócios; b) avaliar as métricas de complexidade encontradas, a fim de selecionar as que melhor se adequam para aplicação em projetos de mapeamento de processos; c) aplicar as métricas de complexidade selecionadas aos processos de uma organização pública de grande porte e; d) definir níveis de complexidade de processos com base nos resultados obtidos.

Neste sentido, foram encontrados cinco estudos que abordam a complexidade em processos, e identificadas 13 métricas que visam medir a complexidade em processos de negócio, apresentadas resumidamente na seção 2.5 (Quadro 4), atingindo assim o primeiro objetivo específico do estudo.

O segundo objetivo específico foi alcançado com uma ponderada avaliação, utilizando para isto as propriedades de Weyuker e outros quatro critérios – validação empírica, automação da medição, adequação ao BPMN e simplicidade – que resultou na seleção das métricas *Control-Flow Complexity* (CFC) e Grau de Sequenciamento ( $\mathcal{E}$ ) para avaliar a complexidade de processos e assim, pelas características apresentadas, dar suporte a tomada de decisão na estimação de custos, tempo e recursos necessários para a execução dos projetos.

Em complemento à seleção das métricas, foi estruturado um guia para extrair os dados de complexidade dos modelos de processo, possibilitando, assim, cumprir o terceiro objetivo específico proposto inicialmente. Utilizando o guia estruturado, foram realizadas medições de 40 processos de uma organização pública de grande porte, resultando num conjunto de dados de complexidade que visa representar a variedade de modelos de processos encontrados nas organizações.

O conjunto de dados obtido foi submetido a uma análise exploratória que resultou na definição dos níveis de complexidade para que, além dos resultados numéricos, os modelos de processos possuam uma classificação de complexidade – Muito Baixa, Baixa, Moderada, Alta ou Muito Alta – relacionando o processo analisado à estimativa do esforço empreendido em sua modelagem – recursos computacionais, número de analistas necessários e tempo de modelagem, atingindo assim, o objetivo específico d) deste trabalho.

Por fim, realizou-se a classificação da complexidade dos modelos de processos da organização pública de grande porte. A análise da matriz de correlação revelou uma relação de complementaridade entre as avaliações realizadas pelas métricas CFC e Grau de Sequenciamento, confirmando a vocação que estas medições possuem para compor um indicador de complexidade com alicerces em diferentes perspectivas.

Os valores de complexidade das métricas selecionadas se mostraram eficientes também na designação de práticas de modelagem que incrementam a complexidade de um modelo de processo. Portanto os níveis de complexidade podem ser utilizados inclusive para melhorar os processos mapeados que possuam maior dificuldade de serem entendidos por *stakeholders*.

Assim foi verificado neste estudo que as métricas selecionadas (CFC e Grau de Sequenciamento), bem como os níveis de complexidade definidos com a medição dos processos analisados, possuem grande capacidade para subsidiar a estimativa de recursos utilizados em projetos de mapeamento de processos, pois são simples de serem aplicadas no dia-a-dia dos projetos e fornecem informações sob uma perspectiva interna dos processos mapeados. Isto tornará a tomada de decisão no âmbito destes projetos mais condizente com os processos de negócio de interesse dos *stakeholders*.

## **6.1. TRABALHOS FUTUROS**

Naturalmente, a amostra de modelo de processos analisada neste estudo não reflete todas as várias formas existentes de definição de fluxogramas. Apesar do trabalho ter constatado que o conjunto de dados fornece uma boa representação dos modelos de processo encontrados comumente nas organizações, é necessário que se analise uma variedade maior de processos para validar empiricamente os níveis de complexidade propostos e verificar sua efetividade.

Ao longo do desenvolvimento da pesquisa, foi sugerida a necessidade de uma metodologia para classificar de complexidade global de um processo que tenha como parâmetros as métricas CFC e Grau de Sequenciamento. Entretanto a falta de análises empíricas na literatura que visem a explicar a relação entre as duas medições de complexidade não permitiram que se construísse um nível de confiança robusto o suficiente para este resultado. Portanto, sugere-se como um

trabalho futuro a definição de um método sistemático capaz de determinar a complexidade de um processo baseando-se na inter-relação entre as métricas CFC e Grau de Sequenciamento obtida como resultado neste estudo.

Apesar da simplicidade de medição ter figurado como um dos critérios de seleção das métricas, o cálculo da complexidade mostrou-se um pouco dispendioso de ser realizado pelos analistas de processos. Portanto o desenvolvimento de *softwares* para a medição de complexidade pode ser de grande valia para os projetos de mapeamento de processos.

Outros elementos comumente encontrados em modelos de processos (artefatos, eventos de início e fim, etc.) não são tidos como parâmetros para as métricas de complexidade nas atuais medições existentes. Portanto outra sugestão de projetos futuros é a formalização de novas métricas que levem em conta esses elementos, que é mencionado por analistas como fator que incrementa a complexidade dos processos.

# REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABPMN. **BPM CBOK: guia para o gerenciamento de processos de negócio**. 1ª. ed. Brasil: ASSOCIATION OF BUSINESS PROCESS MANAGEMENT PROFISSIONALS (Brasil), v. 3.0, 2013.
- BALDAM, R.; VALLE, R.; ROZENFELD, H. **Gerenciamento de Processos de Negócio BPM: uma referência para implantação prática**. 1ª. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2014.
- BIZAGI. **Página de suporte ao usuário Bizagi Modeler**. Página Bizagi, 2016. Disponível em: <<http://help.bizagi.com/process-modeler/en/>>. Acesso em: 28 out. 2016.
- BRIAND, L. C.; MORASCA, S.; BASIL, V. R. Property-based software engineering measurement. **IEEE TRANSACTIONSON SOFTWARE ENGINEERING**, v. 22, n. 1, p. 68-86, January 1996.
- CAPPELLI, C.; SANTORO, F.; DUTRA, J. R.; BARROS, M.; NUNES, V. **Pesquisa em estimativas em projetos de modelagem de processos**. UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO - CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLOGIA. Rio de Janeiro - RJ. 2009.
- CARDOSO, J. Complexity **Analysis of BPEL Web Processes**. Wiley InterScience, p. 35-49, outubro 2006a.
- CARDOSO, J. **Process control-flow complexity metric: An empirical validation**. IEEE International Conference on Services Computing, Chicago, p. 167-173, 2006b.
- CARDOSO, J. **Business Process Control-Flow Complexity: Metric, Evaluation, and Validation**. International Journal of Web Services Research, v. 2, n. 5, p. 49-76, Abril-Junho 2008.
- CARDOSO, J.; MENDLING, J.; Neumann, G.; REIJERS, H.A. **A Discourse on Complexity of Process Models**. Business Process Management Workshops, p. 115-126, Heidelberg, 2006.
- FREEMAN, R. E.; HARRISON, J. S.; WICKS, A. C. **Managing for Stakeholders: Survival, Reputation, and Success**. New Haven: Yale University Press, 2007.
- GARCÍA, F.; BERTOIA, M. F.; CALERO, C.; VALLECILLO, A.; RUÍZ, F.; PIATTINI, M.; GENERO, M. **Towards a consistent terminology for software measurement**. Information and Software Technology, Amsterdã, v. 48, n. 1, p. 631–644, 2006.
- GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4ª. ed. São Paulo: Atlas, 2002.
- GONZÁLEZ, L. S.; RUBIO, F. G.; GONZÁLEZ, F. R.; VELTHUIS, M. P. **Measurement in business processes: a systematic review**. Business Process Management Journal, v. 16, n. 1, p. 114-134, 2010.

- GONZÁLEZ, L. S.; GONZÁLEZ, F. R.; CARDOSO, J.. **Towards Thresholds of Control Flow Complexity Measures for BPMN Models**. ACM Symposium on Applied Computing, New York, NY, 2011.
- GRUHN, V.; LAUE, R. **Adopting the Cognitive Complexity Measure for Business Process Models**. 2006 5th IEEE International Conference on Cognitive Informatics Volume 1. Pequim: IEEE. p. 236 - 241. 2006.
- GUCEGLIOGLU, A. S.; DEMIRORS, O. **Using Software Quality Characteristics to Measure Business Process Quality**. Business Process Management: Lecture Notes in Computer Science, Heidelberg, p. 374-379, 2005.
- HOSMER, D. W.; LEMESHOW, S.; STURDIVANT, R. X. **Applied Logistic Regression**. 3ª. ed. Nova Jersey, EUA: John Wiley & Sons, 2013.
- IEEE. **IEEE Standard Glossary of Software Engineering Terminology**. New York: [s.n.], v. IEEE Std. 610.12-1990, 1990.
- KAUARK, F. D. S.; MANHÃES, F. C.; MEDEIROS, C. H. **Metodologia da pesquisa: um guia prático**. 1ª. ed. Itabuna: Via Litterarum, 2010.
- KLUZA, K. **Measuring Complexity of Business Process Models Integrated with Rules**. In: RUTKOWSKI, L. **Artificial Intelligence and Soft Computing**. Zakopane: Springer International Publishing, v. 9120, p. 649-659, 2015.
- KLUZA, K.; NALEPA, G. J. **Proposal of Square Metrics for Measuring Business Process Model Complexity**. Federated Conference on Computer Science and Information Systems, 2012.
- KLUZA, K.; NALEPA, G. J.; LISIECKI, J. **Square Complexity Metrics for Business Process Models**. In: MACH-KRÓL, M.; PEŁECH-PILICHOWSKI, T. **Advances in Business ICT**. [S.l.]: Springer International Publishing, v. 257, Cap. 6, p. 89-107. 2014.
- LAPPONI, J. C. **Estatística Usando Excel**. 4ª. ed. [S.l.]: ELSEVIER EDITORA, 2005.
- LASSEN, K. B.; VAN DER AALST, W. M. P. **Complexity Metrics for Workflow Nets**. Information and Software Technology, 2009.
- LATVA-KOIVISTO, A. M. **Finding a complexity measure for business process models**. HELSINKI UNIVERSITY OF TECHNOLOGY - Systems Analysis Laboratory. HELSINKI. 2001.
- MCCABE, T. J. A Complexity Measure. **IEEE TRANSACTIONS ON SOFTWARE ENGINEERING**, Meade, Dezembro 1976.

- MENDLING, J.; GONZÁLEZ, L. S.; GARCÍA, F.; ROSA, M. **Thresholds for error probability measures of business process models**. Journal of Systems and Software, Amsterda, Holanda, v. 85, n. 5, p. 1188–1197, maio 2012.
- MENDLING, J.; NEUMANN, G. **Error Metrics for Business Process Models**. International Conference on Advanced Information Systems Engineering, 2007.
- MIGUEL, P. A. C.; FLEURY, A.; MELLO, C. H. P.; NAKANO, D. N.; LIMA, E. P. ; TURRIONI, J. B.; HO, L. L.; MORABITO, R.; MARTINS, R.; SOUSA, R.; COSTA, S. E. G.; PUREZA, V. **METODOLOGIA DE PESQUISA EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO E GESTÃO DE OPERAÇÕES**. 2. ed. Rio de Janeiro – RJ: Elsevier, 2012.
- MORETTIN, P. A.; BUSSAB, W. D. O. **ESTATÍSTICA BÁSICA**. 6ª. ed. São Paulo: Saraiva, 2010.
- MUKETHA, G. M. GHANI, A.; SELAMAT, M.; ATAN, R. **A Survey of Business Process Complexity Metrics**. Information Technology Journal, Faisalabad, 2010.
- PLATTS, K. W. A Process Approach to Researching Manufacturing Strategy. **International Journal of Operations & Production Management**, 1993.
- POWELL, S. G.; SCHWANINGER, M.; TRIMBLE, C. **Measurement and control of business processes**. System Dynamics Review, v. 17, p. 63–91, Março 2001.
- SHATNAWI, R. LI, W.; SWAIN, J.; NEWMAN, T. **Finding software metrics threshold values using ROC curves**. Journal of Software Maintenance and Evolution: Research and Practice , Nova York, EUA, v. 22, p. 1-16, Janeiro 2010.
- SILVA, E. L. D.; MENEZES, E. M. **Metodologia da Pesquisa e Elaboração de Dissertação**. 4ª. ed. Florianópolis: UFSC, 2005.
- VALLE, R.; OLIVEIRA, S. B. D. **Análise e Modelagem de Processos de Negócio: Foco na notação BPMN (business process modeling notation)**. 1. ed. São Paulo: Atlas, 2013.
- VANDERFEESTEN, I. REIJERS, H. A.; MENDLING, J.; AALST, W. M. P.; CARDOSO, J. **On a Quest for Good Process Models: The Cross-Connectivity Metric**. Lecture Notes in Computer Science, 2008. 480-494.
- WEYUKER, E. J. **Evaluating Software Complexity Measures**. IEEE TRANSACTIONS ON SOFTWARE ENGINEERING, v. 14, n. 9, p. 1357–1365, Setembro 1988.
- WILLIAMS, M. H. Generating structured flow diagrams the nature of unstructuredness. **The Computer Journal**, Oxford, n. Oxford University Press, p. 45-50, 1977.
- YIN, R. K. **Estudo de Caso: Planejamento e métodos**. 2ª. ed. Porto Alegre: Bookman, 2001.

ZELKOWITZ, M. V.; WALLACE, D. **Experimental models for validating computer technology**. IEEE Computer, v. 31, p. 23-31, Maio 1998.



## APÊNDICE A: Guia para preenchimento do quadro de complexidade

Para realizar a medição e posterior análise da complexidade dos processos é necessário coletar os seguintes dados:

- Número de reuniões realizadas
- Quantidade de elementos (Overall)
- Quantidade de atividades (Tasks)
- Quantidade total de desvios (Gateways)
- Quantidade de desvios inclusivos e paralelos
- Quantidade de eventos de fim
- Quantidade de atividades sequenciais

Sendo assim, ao término de cada processo, deverá ser preenchida a tabela de complexidade que se encontra no canto superior direito do Quadro de Acompanhamento de Processos:

Reuniões	Elementos	Atividades	Desvios	Subprocessos	Caminhos dos desvios	Fins	Artefatos únicos	Artefatos totais

Elaborar diagrama      Revisar diagrama pelo Orientador      Realizar entrevista 2      Revisar diagrama

### 1. Quantidade de reuniões realizadas

Basta observar quantas reuniões foram registradas no quadro de acompanhamento de processos e preencher essa coluna da tabela de complexidade.

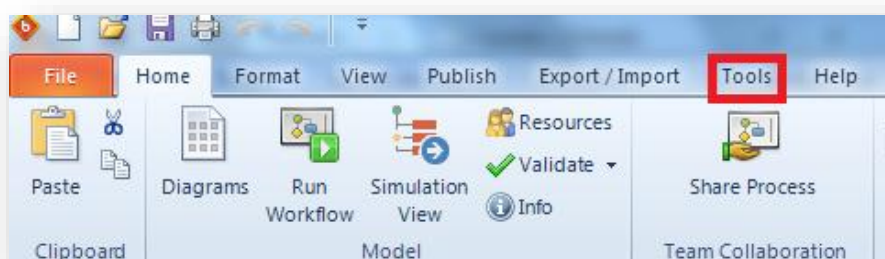
**Atenção: As reuniões adicionais devem ser consideradas nessa contagem!**

## 2. Quantidade de elementos, atividades, desvios e subprocessos

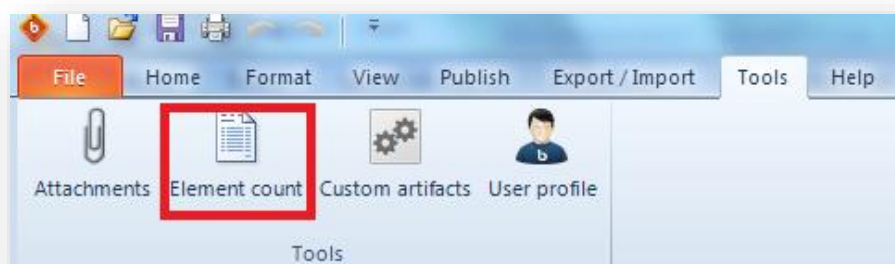
O Bizagi dispõe do *Element count*, que fornece a quantidade de elementos, de atividades, de desvios e de subprocessos no diagrama.

A ferramenta de contagem dos elementos é acessada ao clicar no menu *Tools*, e logo após, *Element count*. Dessa forma:

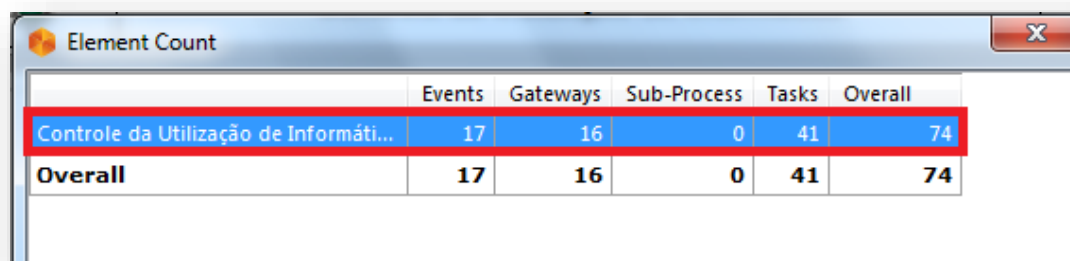
1. Na barra de ferramentas do *Bizagi* clicar em *Tools*.



2. Clicar em *Element Count*.



3. Anotar na tabela de complexidade os valores que aparecem na tabela gerada pelo *Bizagi*.



	Events	Gateways	Sub-Process	Tasks	Overall
Controle da Utilização de Informáti...	17	16	0	41	74
<b>Overall</b>	<b>17</b>	<b>16</b>	<b>0</b>	<b>41</b>	<b>74</b>

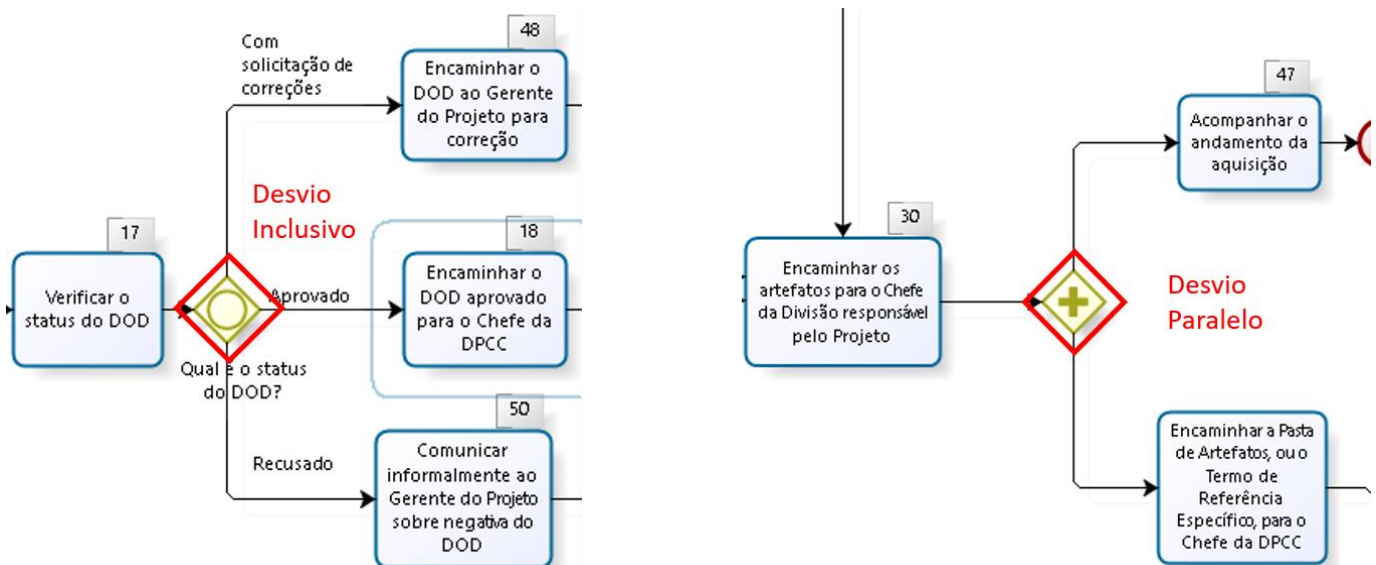
### Observações:

Se houver subprocessos, preencher a tabela de complexidade com a contagem total dos elementos de todos os subprocessos, ou seja, com os valores na linha **Overall**:

	Events	Gateways	Sub-Process	Tasks	Overall
Diagram 2 - Aprovação da Nota de ...	2	5	0	16	23
Diagram 1 - Planejamento da Aquisi...	4	5	1	46	56
<b>Overall</b>	<b>6</b>	<b>10</b>	<b>1</b>	<b>62</b>	<b>79</b>

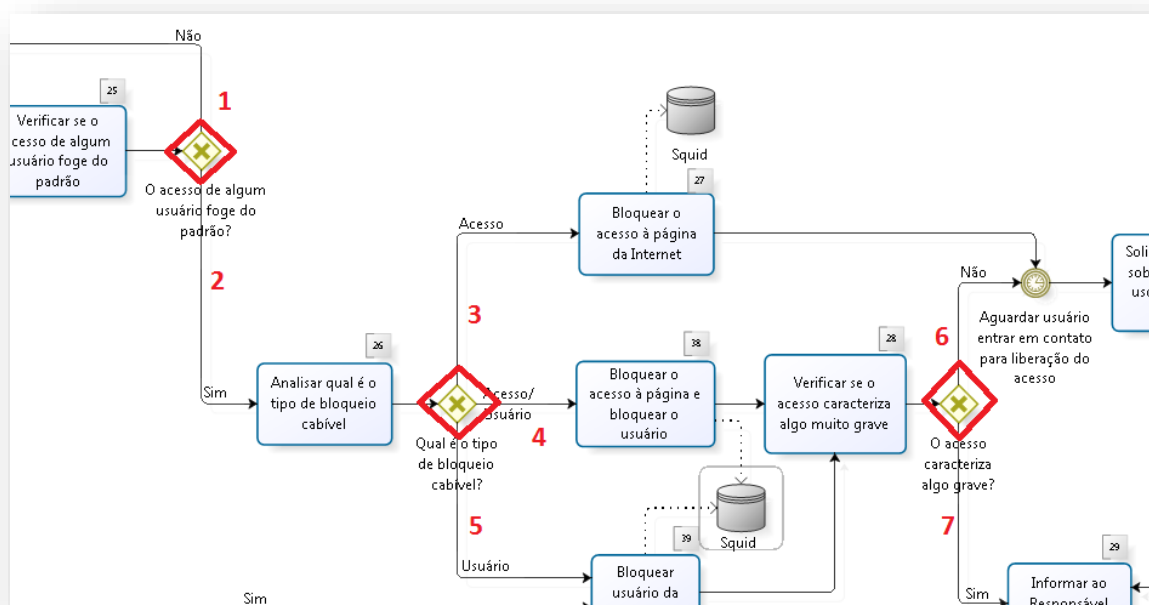
### 3. Quantidade de desvios inclusivos e desvios paralelos.

A contagem da quantidade de desvios inclusivos e desvios paralelos deve ser feita manualmente. A figura abaixo mostra um exemplo de cada desvio. Basta somar a quantidade total de cada um dos dois tipos de desvios e anotar, em seus respectivos campos, na planilha de complexidade.



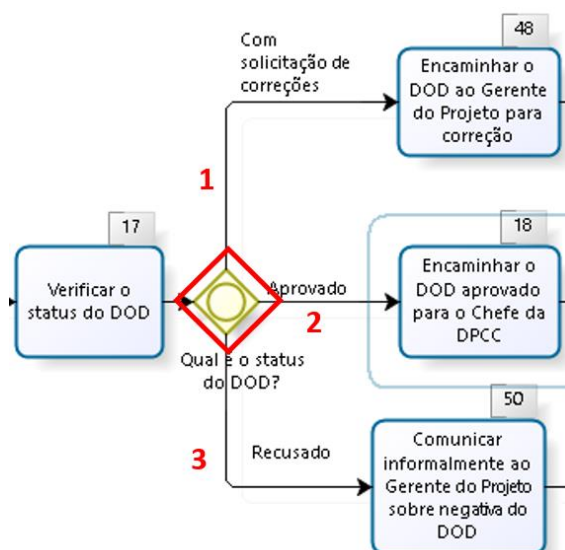
## 4. Quantidade total de caminhos saindo dos desvios

A quantidade total de caminhos saindo dos desvios deve ser contada manualmente. Na figura abaixo existem três desvios. Soma-se a quantidade de caminhos saindo de cada desvio, totalizando sete caminhos:



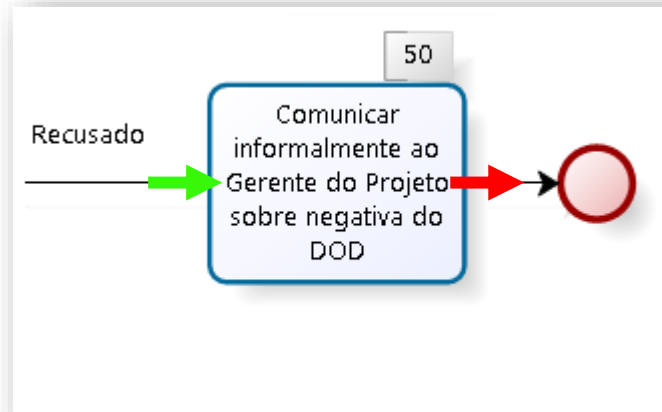
## 5. Quantidade de caminhos saindo dos desvios inclusivos

A quantidade de caminhos saindo dos desvios também deverá ser contabilizada manualmente. Na figura abaixo há o exemplo de um desvio inclusivo e suas saídas. Soma-se a quantidade de caminhos saindo de cada desvio, totalizando três caminhos:



## 6. Quantidade de atividades sequenciais.

A quantidade de atividades sequenciais deve ser contada manualmente. A figura abaixo mostra uma atividade sequencial, que é caracterizada por possuir apenas UM caminho de entrada e UM caminho de saída. Soma-se, então, a quantidade de atividades no fluxograma com esta característica.



Por exemplo, no fragmento de processo abaixo existem 4 atividades, das quais apenas 3 são sequenciais:

